

6895

H

ing. F. Fritz Schaerer

Klimatechnik

697

Klimatechnik

Leitfaden für Entwurf, Berechnung,
Beschreibung und Ausführung von
Klimaanlagen

von

Ing. F. Fritz Schaerer
Biel

Mit 121 Abbildungen, 21 Zahlentafeln und 5 Kurvenbildern

6895.11
6889

IS₂-686



MCMXLIV

RASCHER VERLAG, ZÜRICH

Schweizer Spende - Bücherhilfe
Don Suisse - Aide aux Livres
Swiss Relief - Book Donations

2. Auflage

Nachdruck verboten.

Alle Rechte, insbesondere die Übersetzungs- und Senderechte,
vorbehalten.

Copyright 1944 by Rascher & Cie. A.G. Zürich



144 681

Reproduktionsdruck: Fotorotar AG. Zürich 8

Vorwort zur ersten Auflage.

Die aus der Heiz- und Lüftungstechnik hervorgegangene Klimatechnik hat sich verhältnismäßig sehr rasch zu einem Sondergebiet entwickelt, das ähnlich wie die beiden verwandten Gebiete, die Kält- und die Trockentechnik, wichtige Aufgaben zu erfüllen hat. Der günstige Einfluß eines klimatisierten Raumes auf das Wohlbefinden des Menschen, und die Notwendigkeit einer Klimaanlage für gewisse Industriezweige, wie Tabakindustrie, Webereien, Spinnereien u. a. m., versprechen der Klimatechnik gute Zukunftsaussichten. Darum ist es erforderlich, für geeigneten Nachwuchs zur Bearbeitung und Ausführung von Klimaanlagen zu sorgen, und ich hoffe, mit vorliegendem Buche, das aus dieser Erkenntnis entstanden ist, einen Beitrag dazu gegeben zu haben. Das Buch soll Lehrbücher der Heiz-, Lüftungs- und Klimatechnik ergänzen, und ich hoffe gern, daß es in der Fachwelt und besonders bei denen, die sich mit der Klimatechnik vertraut machen wollen, gute Aufnahme finden wird.

Anregungen zu Verbesserungen und Ergänzungen des Inhalts werde ich dankbar entgegennehmen und nach Möglichkeit in einer Neuauflage berücksichtigen.

Möge daher das Buch dem Nachwuchs und dem, der mit Klimaanlagen zu tun hat, ein gutes Rüstzeug sein.

Hannover, im Herbst 1941.

F. Schaerer.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Nachdem in verhältnismässig kurzer Zeit die erste Auflage vergriffen war, erschien die Herausgabe einer zweiten Auflage als gegeben. Die gute Aufnahme bestätigt, dass das Buch den Bedürfnissen entspricht. Ausser kleinen Berichtigungen erscheint die zweite Auflage unverändert.

Nach wie vor ist das Buch dem Nachwuchs, also Studierenden und solchen, die sich noch mit der Klimatechnik vertraut machen wollen, gewidmet. Aus diesem Grunde sind absichtlich hochmathematische Abhandlungen vermieden worden. Es soll auch für die Nichttheoretiker leicht verdaulich sein. Dem ausgesprochenen Klimafachmann bringt das Buch nichts neues, doch dürfte dieser damit im Besitze eines Nachschlagewerkes sein.

Nehme Anregungen zu Verbesserungen und Ergänzungen gerne entgegen, die nach Möglichkeit in einer Neuauflage Berücksichtigung finden sollen. Für die bei der ersten Auflage eingegangenen Anregungen und Berichtigungshinweise sei an dieser Stelle bestens gedankt. Diese wurden nach Möglichkeit berücksichtigt.

Möge daher auch diese Auflage guten Anklang finden und dem im Vorwort zur ersten Auflage beschriebenen Bedürfnis entsprechen.

Biel, im Frühjahr 1944.

F. Schaerer.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
Einleitung	7
I. Abschnitt: Meteorologische und klimatische Grundlagen der Klimatechnik	10
1. Einleitung	10
2. Sonnenstrahlung und Außenlufttemperatur	10
3. Feuchtigkeit der Außenluft	16
4. Der Wind und seine Geschwindigkeit	19
II. Abschnitt: Hygienische Grundlagen der Klimatechnik	21
1. Einleitung	21
2. Der menschliche Körper und sein Wärmehaushalt	22
3. Behaglichkeitsmaßstäbe	24
a) Die Hauttemperatur	24
b) Das Katathermometer	25
c) Die wirksame Temperatur	28
4. Einfluß der Bekleidung auf das menschliche Wohlbefinden	34
5. Wärme- und Wasserdampfabgabe des menschlichen Körpers	35
a) Wärmeabgabe.	35
b) Wasserdampfabgabe	37
III. Abschnitt: Theoretischer Teil	38
1. Der Zustand eines Gases wird bestimmt	39
a) Raumgewicht	39
b) Druck	39
c) Temperatur	39
2. Beziehung zwischen absolutem Druck und Volumen bei gleichbleibender Temperatur	39
3. Beziehung zwischen Volumen und Temperatur bei gleichbleibendem Druck	40
4. Allgemeine Zustandsgleichung	40
5. Gasmischungen	46
6. Feuchte Luft	48
7. Änderung der relativen Feuchtigkeit der Luft bei Änderung der Lufttemperatur	48
8. Erwärmung trockener Luft	51
9. Wärmemenge zur Wasserverdunstung	52
10. Erwärmung feuchter Luft	53

	Seite
11. Beschreibung des <i>t-x</i> -Diagramms	54
a) Bestimmung des Wassergehaltes der Luft	54
b) Bestimmung des Wärmehaltes der Luft	54
c) Kühlung und Nachwärmung der Luft (Verdunstungskühlung)	54
d) Zufuhrwärmung und Befeuchtung	56
e) Zusammenfassung und Gebrauchsanweisung des <i>t-x</i> -Diagramms	57
12. Die Heiz- bzw. Kühllast-Berechnungen	57
a) Heizlastberechnung im Winterbetrieb	57
b) Kühllastberechnung	58
c) Taupunktregelung	79
IV. Abschnitt: Klimaanlage	82
1. Geschichtliches	82
2. Einleitung	83
3. Das Klimagerät und sein Aufbau	86
4. Beschreibung der Einzelteile einer Klimaanlage	90
a) Die Lüfter	90
b) Die Luftfilter	97
c) Der Luft-Vorerwärmer	104
d) Der Luftkühler	107
e) Die Befeuchtungsanlage	110
f) Der Tropfenfänger	113
g) Der Luft-Nachwärmer	113
h) Rückluft- und Umluftmischkammern	114
V. Abschnitt: Klimaanlage verschiedener Ausführung	118
VI. Abschnitt: Die Meßgeräte der Klimaanlage	141
1. Die Temperatur-Meßgeräte	141
2. Die Feuchtigkeits-Meßgeräte	147
3. Die Luftgeschwindigkeits-Meßgeräte	151
4. Die Überwachungs-Schalttafel	153
VII. Abschnitt: Regler und Regelung in Klimaanlage	157
1. Die elektrische Regelanlage	161
2. Die Druckluft-Regelanlage	167
3. Die elektro-hydraulische oder pneumatische Regelanlage	168
4. Elektrische Sicherheitsvorrichtungen	170
5. Anordnung der Regelanlage	172
a) Regelung für Winterbetrieb	172
b) Regelung für Sommerbetrieb	177
c) Regelung für Sommer und Winter	178
VIII. Abschnitt: Berechnung und Ausführung der Luftverteil- leitungen	181
1. Berechnung	181
2. Ausführung der Luftkanäle	191
3. Geräuschkämpfung	198
Fachliteratur	200
Zahlentafeln	201
Sachverzeichnis	226

Einleitung.

Nachdem vor wenigen Jahrzehnten der Wert einer Klimaanlage für die Fabrikation und Verarbeitung von Tabak, Faserstoffen, Papier, Süßwaren usw., und nicht zuletzt für das Wohlbefinden des Menschen selbst erkannt wurde, ist die Entwicklung solcher Anlagen in Amerika sprunghaft emporgestiegen. In den europäischen Staaten hat sich diese Entwicklung nicht so schnell durchgesetzt, weil hier die Hitzeperioden bei weitem nicht so intensiv sind wie in Amerika. Man bezweifelte die Rentabilität einer künstlichen Klimatisierung der Aufenthalts- oder Gewerberäume. Außerdem waren die Klimaanlagen in den früheren Jahrzehnten nur von Fachleuten und teilweise auch nur unter besonderen Vorsichtsmaßregeln zu bedienen, wodurch die Betriebskosten sehr hoch wurden. Erst der neueren Zeit blieb es vorbehalten, neue Regelorgane zu finden, die eine einfache Bedienung und genaue Regelung möglich werden ließen. Die uns heute zur Verfügung stehenden Erfahrungen und einwandfreien Grundelemente einer Klimaanlage ermöglichen die Herstellung einer solchen Anlage, die imstande ist, ohne Bedienung der Regelventile (da dies selbsttätig geschieht), die Temperatur wie auch die Feuchtigkeit der Raumluft konstant zu halten, im Sommer und im Winter. Es ist also unberechtigt, die Güte der beim Bau einer Klimaanlage zur Verwendung gelangenden Einzelteile, wie Luftherhitzer, Luftkühler, Luftfilter, Luftwäscher, Lüfter, sowie auch die Güte der Regelanlage anzuzweifeln, denn alle diese Teile sind erprobt und haben sich in der Praxis sehr gut bewährt.

Es unterliegt heute keinem Zweifel, daß die Temperatur, Luftfeuchtigkeit und die Reinheit der Luft in Abhängigkeit von den klimatischen Verhältnissen eines Landes Einfluß auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Arbeitsfähigkeit des Menschen ausüben. Diese Tatsache ist besonders aus den Ergebnissen der Klimaforschung klar zu erkennen, denn daß Zusammenhänge zwischen bestimmten klimatischen Verhältnissen und Sterblichkeitskurven (Tuberkulose, Kinderkrankheiten, Malaria, Tropenkrankheiten usw.) bestehen, ist einwandfrei bewiesen. So ist zur Heilung von Krankheiten des Halses und der Nase klimatisierte Luft (Luftdiät) von großer Bedeutung. Ob jedoch normale Aufenthaltsräume mit klimatisierter Luft versehen

werden sollen, kann nicht allgemeingültig beantwortet werden. Da wir in einem verhältnismäßig milden und erträglichen Klima leben, genügt in vielen Fällen Fensterlüftung, besonders im Sommer; denn die Höchstaußenlufttemperatur von 32 bis 35° C im Schatten wird nur selten erreicht. Andererseits steht dem die Tatsache gegenüber, daß an schwülen Tagen die Fensterlüftung die Raumluft nicht verbessert, sondern u. U. verschlechtert. Die Wärme- und Feuchtigkeitsabgabe der Menschen trägt zur Verschlechterung der Raumluft bei, besonders dann, wenn die Zahl der anwesenden Personen sehr groß ist, was z. B. bei Büroräumen zutrifft. Abgesehen von der außerklimatischen Beeinflussung wird eine Fensterlüftung in einem ausgesprochenen Industrieort, wo die Außenluft von Rauch und Kohlenstaub u. a. m. verunreinigt ist, wenig Erfolg bringen. Für Ein- und Mehrfamilienhäuser wird sich der Einbau einer Klimaanlage nicht lohnen, auf jeden Fall aber für Kranken-, Verwaltungs- und Lichtspielhäuser. Außerdem soll eine Klimaanlage nicht aus materiellen Gründen, sondern zum Wohle der Kranken einerseits und andererseits, um den Schaffenden Arbeitsfreude zu bereiten, eingebaut werden. Daß letztere in gesunder und angenehmer Luft mehr leisten als in verbrauchter und unangenehmer, weiß jeder aus eigener Erfahrung. Die Leistungen der in einem klimatisierten Raum tätigen Menschen können derart günstig werden, daß sich u. U. die Mehrleistung mit den Anschaffungs- und Betriebskosten ausgleicht. Nebenbei sei noch bemerkt, daß nach Erfahrungen die Aufwendungen für die normale Abschreibung und Verzinsung zuzüglich der Betriebskosten einer Komfortanlage in einem Lichtspielhaus etwa 0,05 bis 0,03 RM. je Sitzplatz/Tag betragen. Ist zur Kühlung der Luft eine Kältemaschine erforderlich, dann betragen die Aufwendungen etwa 0,08 bis 0,05 RM.

Die Erkenntnis, daß die Anlage- und Betriebskosten einer gut ausgeführten Klimaanlage in einem sehr günstigen Verhältnis zu deren Nutzen stehen und sich sehr bald bezahlt machen, wird den Ausführungsfirmen von Klimaanlagen in der Zukunft sicher noch viel Arbeit bringen.

Etwas anders sieht das Anwendungsgebiet von Klimaanlagen in der Industrie aus, besonders in Betrieben, wo hygroskopische Stoffe verarbeitet werden. In solchen Betrieben ist zur Verarbeitung des Materials eine Regelung der relativen Luftfeuchtigkeit erforderlich. Da jedoch die Einwirkungen, die die Feuchtigkeitsschwankungen auf das Material ausüben, von der Temperaturschwankung abhängig sind, ist eine Regelung der Temperatur zu gewissen Jahreszeiten erforderlich. Da die Raumtemperatur und die Feuchtigkeit stets konstant sein müssen und da außerdem eine genügende Lüfterneuerung erforderlich ist, hat man in der Erkenntnis, daß Klimaanlagen diesen Forderungen voll und ganz gerecht werden, sich dieser bedient.

Bisher wurden hauptsächlich in folgenden Industrien Klimaanlageanlagen eingebaut: Spinnereien, Webereien, Zwirnereien, Zellwollfabriken, Kunstseidenfabriken, Tabakwarenindustrie, Papierfabriken, Schokoladenfabriken, Süßwarenbetrieben, Lebensmittelabriken, Molkereien, Lagerräumen, Laboratorien, feinmechanischen Betrieben u. a. m.

Die Güte vieler der genannten Produkte hängt vom Raumluftzustand des Verarbeitungsraumes ab, so daß die Klimaanlage unentbehrlich ist und sozusagen zum Verarbeitungswerkzeug gehört.

Nicht unerwähnt soll sein, dass in den Kolonien infolge des tropischen Klimas dem Klima-Ingenieur noch viel Arbeit bevorsteht. Bei der kommenden kolonialen Betätigung wird die geldliche Ertragsaussicht eine geringere Rolle spielen gegenüber der grundsätzlichen Möglichkeit, den in den Kolonien Arbeitenden im heißen Land angemessene Lebens- und Arbeitsbedingungen zu schaffen.

Aus diesen Darlegungen ist ersichtlich, daß das Arbeitsgebiet der Klimatechnik noch lange nicht erschöpft ist, sondern sich erst im Anfangsstadium befindet. Die Klimatechnik, welche sich sehr schnell zu einem Sondergebiet entwickelt hat, wird im Interesse der Volkswirtschaft in den Vordergrund treten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß in Anbetracht der bis heute erreichten sehr guten Ergebnisse die Zukunftsaussichten für Klimaanlageanlagen recht gut sind.

I. Abschnitt.

Meteorologische und klimatische Grundlagen der Klimatechnik.

1. Einleitung.

Bei der Berechnung einer Heizungs-, Lüftungs- oder Klimaanlage sind wir immer an die örtlichen Wetter- und Klimaverhältnisse gebunden. So z. B. muß bei der Berechnung einer Heizungsanlage als Berechnungsbasis stets die tiefste Außentemperatur berücksichtigt werden. Bei der Berechnung einer Klimaanlage muß im Winter außerdem zu der tiefsten Außentemperatur noch die rel. Feuchtigkeit der Außenluft, und im Sommer zu der höchsten Außentemperatur auch entsprechend die rel. Feuchtigkeit der Außenluft und die Sonnenstrahlung berücksichtigt werden. Aus diesen wenigen Worten ist schon zu erkennen, daß das Raumklima im Sommer wie im Winter von dem Zustand der Außenluft beeinflußt wird.

Im folgenden werden die für die Klimatechnik erforderlichen und wichtigsten Grundlagen aus der Wetter- und Klimakunde behandelt.

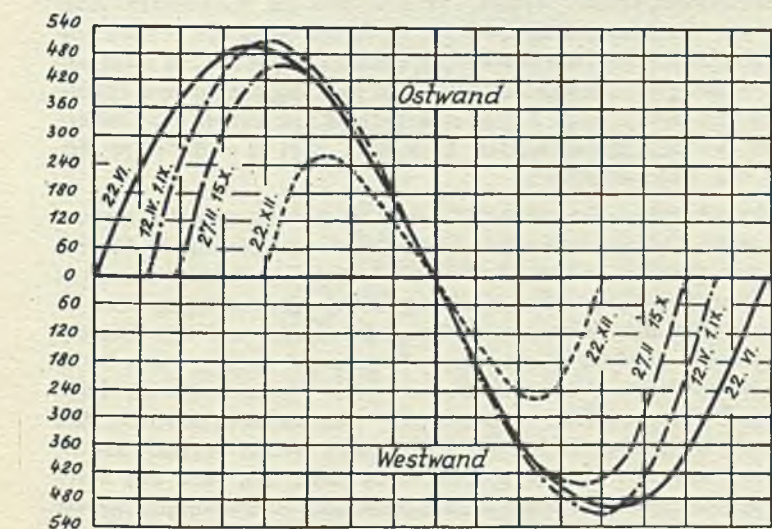
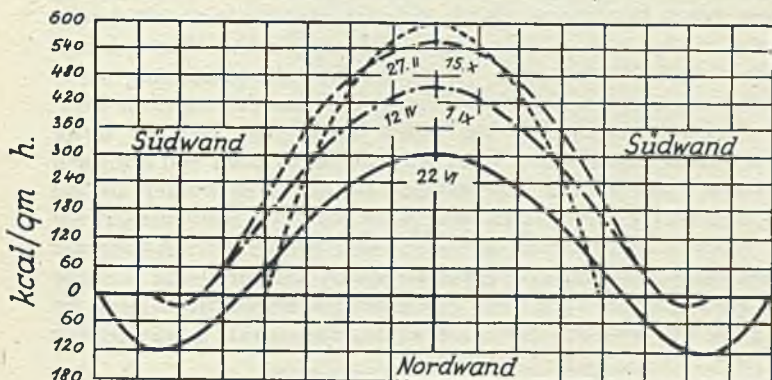
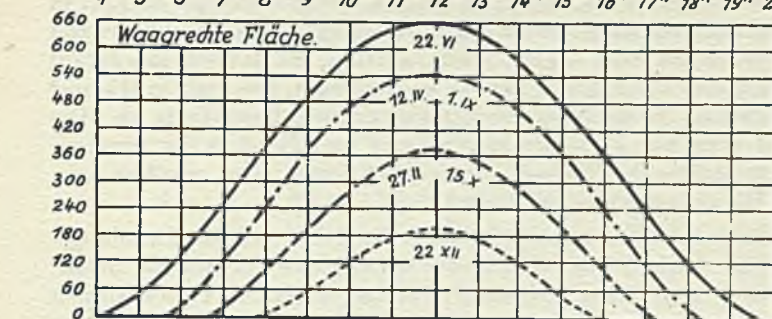
2. Sonnenstrahlung und Außenlufttemperatur.

Scheint die Sonne, dann erwärmt sich die Erdoberfläche und infolge Leitung und Konvektion (Wärmeübergang) werden die darüberliegenden Luftschichten erwärmt. Die Temperatur der Außenluft ist also im wesentlichen eine Folgeerscheinung der Sonnenstrahlung. Die Stärke der Sonnenstrahlung ist von der im Laufe des Tages oder des Jahres wechselnden Höhe des Sonnenstandes abhängig. Staubgehalt der Luft und Bewölkung verringern die Strahlungsabsorption je nach dem Grade des Staubgehaltes und der Bewölkung. Bei klarem Himmel und trockener Luft steigt die Lufttemperatur höher als bei bewölktem Himmel und feuchter Luft. Das gleiche gilt aber auch für den Wärmeaustausch zwischen Erdoberfläche und dem Weltenraum. Die Wolkendecke hält die von der Erdoberfläche ausgestrahlte Wärmemenge auf und strahlt diese teilweise wieder zur Erde zurück. So erklärt es sich, daß bei bewölktem Himmel die nachts eintretende Temperaturminderung geringer ist als bei klarem Himmel. Klare Nächte sind bekanntlich kühl.

Über die Verhältnisse der Sonnenstrahlung, die wir in Mitteleuropa, etwa im südlichen Teil in der Breite Stuttgart—München—Wien erwarten dürfen, enthält Abb. 1 eine gute Übersicht¹⁾.

¹⁾ Die angezogenen Literaturstellen befinden sich am Schluß des Buches unter „Fachliteratur“.

4^h 5^h 6^h 7^h 8^h 9^h 10^h 11^h 12^h 13^h 14^h 15^h 16^h 17^h 18^h 19^h 20^h



4^h 5^h 6^h 7^h 8^h 9^h 10^h 11^h 12^h 13^h 14^h 15^h 16^h 17^h 18^h 19^h 20^h

Abb. 1. Tagesgang der drei Komponenten der Sonnenstrahlung an klaren Tagen im Freiland unter der Breite $48\frac{1}{2}$ Grad (Stuttgart-München-Wien). Die am Himmel mit wechselnder Intensität wandernde Sonne wird ersetzt durch drei Sonnen. Eine am Ost- bzw. Westpunkt, eine am Süd- bzw. Nordpunkt und eine im Zenit. Man erhält auf diese Weise die Strahlungsintensität auf die waagerechte Fläche, die Südwand morgens und abends in der Sommerhälfte auch auf die Nordwand, und auf die Ostwand vormittags bzw. Westwand nachmittags. Für die Nordwand und Westwand sind die Kurven von der Nulllinie nach abwärts aufgetragen.

In der Abbildung ist angegeben, welche Wärmemengen in kcal in der Stunde auf 1 m² waagerechte Fläche, Südwand, Nordwand, Ostwand oder Westwand, zu jeder Tageszeit wirksam sind. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß diese Werte nur bei wolkenlosem, also reinem Himmel erreicht werden. Je nach der Bewölkung nehmen diese Werte ab. Die Nordwand wird nur kurz, am Morgen und am Abend in der sommerlichen Jahreshälfte beschienen, solange die Sonne eben nördlich vom Ost- und Westpunkte des Horizontes steht.

Physiker und Meteorologen haben festgestellt, daß die Strahlungsintensität der Sonne an der Grenze der Atmosphäre auf eine zur Strahlungsrichtung senkrechte schwarze Fläche ungefähr 1160 kcal/m²h beträgt. Dieser Wert wird als Solarkonstante bezeichnet. Die Strahlung erfährt nun beim Durchgang durch die Atmosphäre eine erhebliche Schwächung infolge des Gehalts der Luft an Staub, Wasserdampf (Feuchtigkeit) und Kohlensäure. Eine zur Strahlungsrichtung senkrechte Fläche empfängt daher von der an der Atmosphären-grenze herrschenden Strahlungsintensität nur einen Teilbetrag, welcher unter günstigsten Verhältnissen einen Wert von höchstens etwa 860 kcal/m²h betragen kann. Bei hohem Sonnenstand ist der Weg kürzer als bei niedrigem, also ist die Sonnenstrahlung beim höchsten Sonnenstand am stärksten. Diese Eigenschaften der Sonne sind bei der Berechnung der Kühllast (für eine Klimaanlage) genauestens zu beachten, um so mehr wenn die Klimaanlage auch den gewünschten Raumluftzustand im Sommer, auch bei höchster Sonnenstrahlungsintensität, gewährleisten soll.

Die Außentemperatur verhält sich nun wie die Sonnenstrahlung. Je größer die Strahlungsintensität, desto höher wird die Außentemperatur. Als mittlere höchste Außentemperatur t_a kann man in Deutschland 32° C annehmen, dazu gehört nach den Lüftungsregeln eine Innentemperatur von 26° C. Abb. 2 zeigt den Verlauf der Außen- und Innentemperatur bei den Höchstwerten $t_a = 32° C$ und $t_i = 35° C$ in Abhängigkeit der Tagesstunden²⁾.

Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß der Höchstwert der Außenluft meist gegen 15 h erreicht wird. Der Höchstwert der Innenluft wird sich nicht zur gleichen Zeit wie der der Außenluft einstellen, sondern je nach der Wandstärke der Außenwand ungefähr 1—2 Stunden später. Es ergibt sich infolge der Wärmespeicherung der Wand und des Wärmedurchganges eine gewisse Nacheilung. Ergänzend sind in Abb. 3 die mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen für die Städte Kiel, Königsberg, Berlin und Köln angegeben³⁾. Daraus ist ersichtlich, daß bei Orten mit Küstenlage (Kiel) die Jahreskurve flacher verläuft als bei Binnenorten, was sich darauf zurückführen läßt, daß sich das Meer langsamer erwärmt und abkühlt als das Festland, und zwar infolge der größeren Wärmekapazität des Wassers.

Einen weiteren Klimafaktor bildet auch die Höhenlage eines Ortes. Hier wird sich infolge des Windanfalls die Kälte stärker spürbar machen

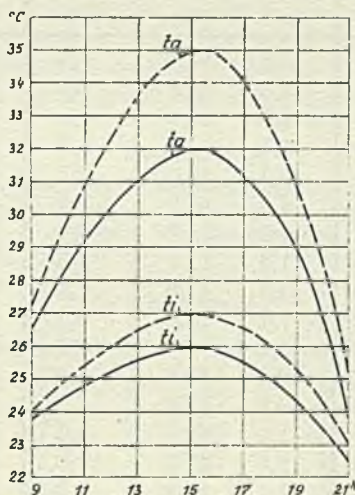


Abb. 2. Tagesverlauf der Außentemperatur t_a und der Innentemperatur t_i für die Höchstaußenluftwerte $t_a = 32^{\circ}\text{C}$ und $t_a = 35^{\circ}\text{C}$.

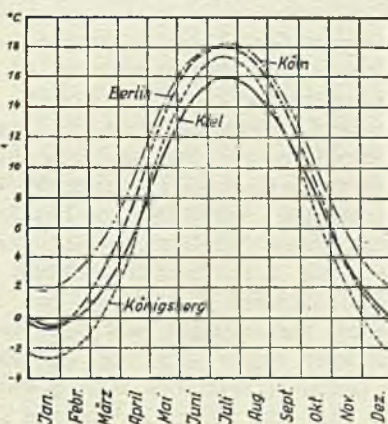


Abb. 3. Jährlicher Gang der Außenlufttemperatur für die Städte Kiel, Königsberg, Berlin und Köln.

als in einem Ort, welcher zwischen Erhebungen liegt und somit gegen Windanfall geschützt ist.

Zahlentafel 1.

Ort	See- lage m	Temperaturen			Mittl. Maxim.	Mittl. Minimum
		Jan.	Juli	Jahr	Jahr	Jahr
Bremen	10	0,6	17,3	8,8	30,30	— 13,40
Berlin (Süd) . . .	49	— 0,3	18,8	9,1	33,20	— 13,80
Königsberg . . .	8	— 2,7	17,5	7,0	31,00	— 19,40
Aachen	204	1,5	16,7	9,0	31,90	— 11,50
Frankfurt	104	0,1	18,6	9,5	32,90	— 13,10
Stuttgart	265	0,3	19,0	9,7	32,40	— 18,70
Breslau	147	— 1,6	18,7	8,6	32,40	— 16,90
Nürnberg	315	— 1,4	17,6	7,5	32,40	— 18,00
München	529	— 3,0	17,0	7,2	31,30	— 16,80
Wien	202	— 1,7	19,6	9,2	33,20	— 14,60
Graz	377	— 2,2	19,9	9,2	29,70	— 15,10
Salzburg	430	— 2,4	17,8	7,9	30,60	— 16,70
Innsbruck	600	— 3,3	17,8	7,9	31,10	— 17,00
Zürich	475	— 1,4	18,4	8,5	30,80	— 13,80
Locarno	237	2,0	21,9	11,8	29,50	— 5,50
Prag	197	1,1	19,3	9,2	32,60	— 15,90

In der Zahlentafel 1 beachte man die milden Januartemperaturen nahe der Küste (Bremen), in Gebieten, die der eindringenden ozeanischen Luft am stärksten ausgesetzt sind (Aachen) oder in solchen, die durch ihre Lage zwischen Erhebungen einigermaßen geschützt sind (Frankfurt, Stuttgart), ohne zu eigentlichen Kessellagen zu werden, aus denen die angesammelte Kaltluft schwer herauszulassen ist (Innsbruck). Die Seehöhe spielt allerdings hierbei auch eine Rolle¹⁾.

Zur Ermittlung der Lufttemperatur ist ein Thermometer erforderlich, welches gegen Strahlung geschützt ist. Eine einwandfreie Messung der Außenluft ermöglicht das trockene Thermometer des für die Feuchtigkeitsmessungen bestimmten Abmannschen Psychrometers. Dieses Thermometer ist mit einem Strahlungsschutz versehen, also gegen Strahlungswirkungen, wie z. B. Sonnenstrahlung oder auch Strahlungswirkung aus der nächsten Umgebung (des Menschen, welcher die Messung vornimmt, Hauswänden usw.) geschützt. Eine genaue mittlere Tagestemperatur ergibt sich aus stündlichen Temperaturablesungen. Nach Gröber⁴⁾ bestimmt man gewöhnlich die mittlere Tagestemperatur aus drei, um 7 Uhr, 14 Uhr und 21 Uhr, angestellten Beobachtungen nach folgender Erfahrungsformel:

$$t_m = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} \quad (1)$$

Von den genauen Werten weichen die so ermittelten Tagesmittelwerte meistens nur um Bruchteile eines Grades ab. Bei der Bildung der

mittleren Monatstemperatur ergibt sich hierbei nur ein Fehler von 0,1 bis 0,2° C.

Während für ganz Deutschland eine Höchstaußenlufttemperatur von 32° C im Sommer in Rechnung gestellt werden kann, ist die für die Wärmeverlustberechnung wichtige Tiefsttemperatur im Winter für viele Orte verschieden. Hierüber enthält Zahlentafel 2 für verschiedene Orte in Deutschland die in Rechnung zu stellenden Tiefstaußenlufttemperaturen⁵⁾.

Zahlentafel 2.

Die mittleren Jahresminima der Außenlufttemperatur und die für die Wärmeverlustberechnung in Rechnung zu stellenden Außenlufttemperaturen für verschiedene Orte Deutschlands.

Ort	Mittl. Jahresminima der Außenlufttemperatur ° C	Tiefste Außentemperatur für die Berechnung ° C
Königsberg	— 19,4	— 20
Memel	— 18,7	— 20
Osterode	— 20,6	— 20
Danzig	— 17,5	— 15
Swinemünde	— 14	— 15
Stettin	— 15,1	— 15
Stralsund	— 13,5	— 15
Posen	— 16,4	— 15
Beuthen (Ob.-Schl.)	— 19	— 20
Breslau	— 16,8	— 15
Gleiwitz	— 19	— 20
Görlitz	— 15,6	— 15
Chemnitz	— 16,9	— 15
Dresden	— 14,3	— 15
Leipzig	— 15,2	— 15
Zwickau	— 17	— 15
Erfurt	— 19	— 20
Dessau	— 14,8	— 15
Berlin (Süd)	— 13,6	— 15
Brandenburg	— 15,6	— 15
Frankfurt/O.	— 16,6	— 15
Potsdam	— 15	— 15
Schwerin	— 15,3	— 15
Hannover	— 13,5	— 15
Dortmund	— 12	— 10
Düsseldorf	— 12	— 10
Wien	— 15,2	— 15
München	— 16,1	— 15
Stuttgart	— 13,6	— 15

Aus der Aufstellung ist ersichtlich, daß für ganz Deutschland keine einheitliche tiefste Außentemperatur für die Wärmeverlustberechnung festgelegt werden kann. Weitere Werte enthält das Buch „Regeln“ (siehe Literaturverzeichnis).

3. Die Feuchtigkeit der Außenluft.

a) Allgemeines.

In heiztechnischer Hinsicht spielt die Feuchtigkeit der Außenluft für die Anlagen der Heizungstechnik nur eine untergeordnete Rolle. Im Gegensatz hierzu fällt der Feuchtigkeit der Außenluft bei Lüftungs- und besonders bei Klimaanlage eine weit größere Beachtung zu. Eine angemessene Raumluftfeuchtigkeit ist auch bei Heizungs- wie bei Klimaanlage erwünscht, doch ist eine solche ohne die erforderlichen Einrichtungen hierzu nicht erreichbar. Bei Heizungsanlagen, sei es eine Warmwasser- oder eine Niederdruckdampfheizung, wird die Raumluft stets sehr trocken sein, und zwar in den meisten Fällen 30—35% rel. Feuchtigkeit. Hier kann die rel. Feuchte durch Öffnen der Fenster erhöht werden, was jedoch viele Nachteile mit sich bringt (Wärmeverlust, Zugscheinungen usw.). Je tiefer im Laufe des Winters die Außenlufttemperatur und damit der Wasserdampfgehalt herabsinkt, desto geringer wird auch die Feuchtigkeit der Innenluft. Sind der Wassergehalt der Außenluft und die Raumtemperatur bekannt, dann läßt sich die relative Feuchtigkeit der Raumluft ohne weiteres errechnen.

Zahlentafel 3.

Monat	Versuchszahlen von Liese (Monatsmittel)				Berechnete Werte	
	Außenluft		Innenluft		relative Feuchtigkeit d. Innen- luft	Wasser- dampfauf- nahme der Luft im Raum
	Tempe- ratur	relative Feuch- tigkeit	Tempe- ratur	relative Feuch- tigkeit		
° C	v. H.	° C	v. H.	v. H.	g/kg	
Oktober .	9,4	72	19,6	45	37	1,1
Novemb. .	4,5	70	19,2	37	27	1,5
Dezember	1,0	71	18,6	32	22	1,4
Januar . . .	—3,0	69	18,5	27	16	1,5
Februar . .	—0,1	68	19,5	30	18	1,7
März	-5,8	68	20,3	31	26	0,7
April	7,8	64	19,6	34	30	0,6

Aus den Versuchswerten von Liese (Zahlentafel 3) läßt sich entnehmen, daß die wirklichen relativen Feuchtigkeiten der Raumluft höher als die errechneten Werte sind⁶⁾. Dies läßt sich darauf zurückführen, daß die Raumluft von den anwesenden Personen, von den Wänden und hygroskopischen Gegenständen noch Wasserdampf aufnimmt. Aus Zahlentafel 3 ist also ersichtlich, daß die Raumluft schon bei dem natürlichen Luftwechsel infolge Wanddurchlässigkeit und Fensterundichtigkeit von dem Außenluftzustand beeinflußt wird. Weit größer ist die Beeinflussung der Raumluft von der Außenluft bei Lüftungs- und Luftheizungsanlagen. Ohne Befuchtungseinrichtung wird man nicht in der Lage sein, die zu belüftenden Räume mit einem befriedigenden Feuchtigkeitsverhältnis versehen und halten zu können. Die sogenannten „Klimaanlagen“ sind in der Lage, die gewünschten Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Raumluft herzustellen. Die Feuchtigkeit der Außenluft ist für die Berechnung und für den Betrieb solcher Anlagen ebenso wichtig wie die Außenlufttemperatur.

Genau wie die Außenlufttemperatur wird auch die Feuchtigkeit von den Wetterwarten gemessen. Das Abmannsche Psychrometer hat sich hierbei als das beste und genaueste Meßinstrument erwiesen. Die mittlere relative Tagesfeuchtigkeit wird wie bei der Temperaturmessung durch Messungen um 7 Uhr, um 14 Uhr und um 21 Uhr ermittelt. Zunächst ermittelt man den Teildruck des Wasserdampfes nach der Formel:

$$p_a = p_t - 0,5 \cdot \frac{b}{760} \cdot (t - t_f) \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

- p_a = Teildruck des Wasserdampfes in mm Q. S. bei der Temperatur t ,
- p_t = Sättigungsdruck des Wasserdampfes in mm Q. S. bei der Temperatur t_f ,
- b = Barometerstand in mm Q. S.
- t = Temperatur des trockenen Thermometers in ° C,
- t_f = Temperatur des feuchten Thermometers in ° C,
- $t - t_f$ = psychrometrische Differenz in ° C.



Abb. 4.
Abmannsches
Psychrometer.



Diese Formel ist jedoch nur für Temperaturen zwischen Null und 44° C gültig. Die Formeln für Temperaturen oberhalb 40° C und unterhalb 0° C sind der „Hütte“ zu entnehmen.

Bedeutet p_s den Sättigungsdruck des Wasserdampfes im Sättigungszustand und φ die relative Feuchtigkeit, so errechnet sich letztere zu:

$$\varphi = \frac{p_a}{p_s} \cdot 100 \quad \text{in \%} \quad (3)$$

Weiteres hierüber enthält der theoretische Abschnitt.

b) Die Feuchtigkeit der Außenluft.

Je höher der Dampfdruck, desto höher ist die Lufttemperatur und desto geringer die relative Feuchtigkeit, d. h. da die Verdampfungs- menge mit steigender Lufttemperatur zunimmt, muß auch der Dampfdruck in seinem zeitlichen Verlauf sich ähnlich wie die Lufttemperatur verhalten. Nachstehende Zahlentafel 4 enthält die Zweimonatsmittel für Temperatur-Dampfdruck und Feuchtigkeit der Außenluft.

Zahlentafel 4.

Monate	Lufttemperatur (° C)			Dampfdruck (mm Q · S)			rel. Feuchtigkeit (%)		
	7 h	14 h	21 h	7 h	14 h	21 h	7 h	14 h	21 h
Jan.-Febr. . .	— 5,5	— 0,9	— 3,7	3,00	3,40	3,20	90	73	85
März-April . .	+ 2,2	+ 8,6	+ 4,8	5,00	5,00	5,10	89	61	79
Mai-Juni . . .	12,7	20,1	14,7	8,90	8,00	8,80	80	46	70
Juli-Aug. . . .	14,8	21,9	17,1	10,50	10,10	10,60	84	53	72
Sept.-Okt. . .	9,5	16,1	11,7	8,20	8,60	8,90	91	64	84
Nov.-Dez. . . .	2,4	5,5	3,4	5,20	5,60	5,50	92	80	92

Zusammengestellt nach den Ergebnissen der meteorologischen Beobachtungen in Potsdam. — Jahrgänge 1929 und 1930. Berlin, Jul. Springer.

Die Beobachtungen wurden zu den Zeiten 7 Uhr, 14 Uhr und 21 Uhr gemacht und notiert, was aus der Zahlentafel 4 ersichtlich ist. Die angegebenen Werte genügen zur Verfolgung des jährlichen Ganges vollkommen.

Für die Städte Berlin und Kiel ist in der Abb. 5 aus den Monatsmittelwerten nach den Angaben des Klimaatlas von Deutschland der jährliche Gang des Dampfdruckes und der Feuchtigkeit gezeigt⁷⁾. Aus der Abb. 5 ist zu ersehen, daß der jährliche Gang des Dampfdruckes zu demjenigen der relativen Feuchtigkeit in einer Gesetzmäßigkeit verläuft. Da Kiel in der Nähe des Meeres liegt, sind der Dampfdruck und die relative Feuchtigkeit dort höher als in Berlin. Die Höchstfeuchtigkeit erreicht die Luft im Januar, und den Höchstdampfdruck im Juli.

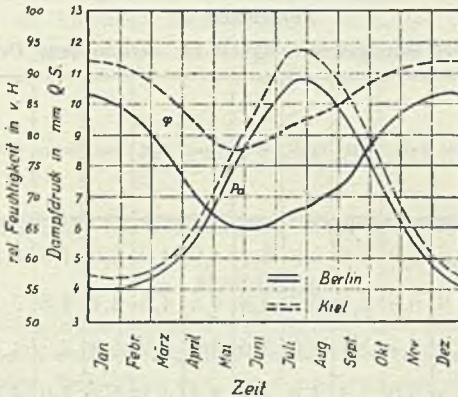


Abb. 5. Jährlicher Gang des Dampfdruckes und der relativen Feuchtigkeit für die Städte Berlin und Kiel.

Die für die Berechnung von Klimaanlage in Rechnung zu stellende Außenluftfeuchtigkeit ist der jeweiligen Außenlufttemperatur entsprechend der Zahlentafel 7 zu entnehmen.

4. Der Wind und seine Geschwindigkeit.

Für Lüftungs- sowie auch Klimaanlage ist der Wind nur ein nebensächlicher Faktor. Größere Bedeutung fällt dem Wind bei der Berechnung von Heizungsanlagen (Wärmeverlustberechnung) zu. Die auskühlende Wirkung des Windes auf beheizte Gebäude, die weniger der Vergrößerung des Wärmeüberganges an den Außenflächen als dem Eindringen von Luft durch Undichtigkeiten an Fenstern und Türen zuzuschreiben ist, hat in den Heizungsregeln DIN 4701 durch besondere Windzuschläge ihre Berücksichtigung gefunden. Diese Zuschläge erstrecken sich nur auf Außenflächen mit Nord-Nordost- und Ost-Lage. Genau wie die anderen meteorologischen Elemente des Außenklimas, wie Temperatur, Feuchtigkeit und Dampfdruck, wird von den Wetterwarten

auch die Luftgeschwindigkeit gemessen. Zur Messung der Windgeschwindigkeit wird meistens das bekannte Robinsonsche Schalenkreuzanemometer verwendet. Die genaue Windrichtung wird mittels der Windfahne festgestellt. Jede größere Wetterwarte ist mit einem selbstschreibenden Geschwindigkeitsmesser versehen, der zur Daueraufzeichnung der Windverhältnisse benutzt wird.

Zahlentafel 5, in der die Monatsmittelwerte nach dem Klimaatlas von Deutschland enthalten sind, zeigt den jährlichen Gang der Windgeschwindigkeit für verschiedene Orte Deutschlands.

Zahlentafel 5.

Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit für verschiedene Orte Deutschlands.

Ort und Höhe des Anemometers über Boden	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahresmittel
Hamburg 28 m	6,2	5,9	5,9	5,3	5,1	4,9	4,9	5,0	4,9	5,5	5,8	6,1	5,5
Kiel 15 m	6,0	5,8	5,9	5,0	4,8	4,5	4,5	4,7	4,6	5,1	5,6	5,8	5,2
Aachen 27 m	5,5	5,4	5,1	4,6	4,0	3,6	3,7	4,2	3,5	4,3	4,8	5,2	4,5
Berlin 33 m	4,9	5,0	5,2	4,6	4,4	4,2	4,1	4,2	4,0	4,5	4,3	4,8	4,5
Dresden 20 m	4,3	4,2	3,9	3,7	3,3	3,5	3,5	3,5	3,3	3,2	4,0	4,3	3,7
Nürnberg 19 m	2,9	2,6	2,8	2,9	2,6	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,6	2,8	2,7
München 19 m	1,8	2,0	2,1	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8

Aus Zahlentafel 5 ist ersichtlich, daß die Windgeschwindigkeit in den Sommermonaten gegenüber den Wintermonaten geringer ist⁹⁾. Die von dem Atlantischen Ozean kommenden Tiefs, die sich dann über dem Festlande verflachen, erhöhen infolge ihrer starken Druckgefälle die Windgeschwindigkeit. Hierdurch läßt sich das Vorkommen höherer Windgeschwindigkeiten in den Wintermonaten gegenüber den Sommermonaten erklären. Daher werden in den Orten an der Küste, wie Hamburg und Kiel, höhere Windgeschwindigkeiten gemessen als bei den weit im Festland liegenden Orten, wie München, Nürnberg und Dresden, d. h. je weiter die Orte von der Küste entfernt liegen, desto geringer ist die Windbeeinflussung.

Soll eine Klimaanlage im Winter auch die Beheizung des Raumes übernehmen (was aus betriebstechnischen Gründen empfehlenswert ist), dann wird der Windanfall auf das beheizte Gebäude auch von

Bedeutung sein und muß bei der Ermittlung des stündlichen Wärmeverlustes berücksichtigt werden. Man sollte annehmen können, daß sich der Brennstoffverbrauch durch die Windverhältnisse beeinflussen läßt. Da diesbezügliche Untersuchungen noch nicht vorliegen, kann hierauf nicht näher eingegangen werden.

Aus der Abhandlung der meteorologischen Bedingungen betr. Temperatur, Feuchtigkeit und Windanfall ist erkenntlich, daß diese bei der Berechnung von Klimaanlagen gewissenhaft beachtet werden müssen. Anfänglich werden diese Beachtungen und Berücksichtigungen dem projektierenden Ingenieur von Klimaanlagen viele Schwierigkeiten bereiten, doch da hierüber ausreichendes Material vorliegt, verweise ich auf das am Schlusse des Buches angegebene Literaturverzeichnis.

II. Abschnitt.

Hygienische Grundlagen der Klimatechnik.

1. Einleitung.

Die Arbeitsfreudigkeit und Leistungsfähigkeit des Menschen steigt und sinkt je nach seinem Wohlbefinden. Im wesentlichen wird das Wohlbefinden der Menschen von dem Luftzustand des Arbeits- oder Aufenthaltsraumes beeinflußt. Nach den physiologischen Gesetzen fühlt sich der menschliche Körper nur dann behaglich, wenn sein Wärmehaushalt keine Störungen erfährt, d. h. wenn er an die Umgebung gerade so viel Wärme abführen kann, wie durch die Lebensvorgänge im Innern erzeugt werden. Die Wärmemenge, welche der Mensch abgeben muß, um seinen Wärmehaushalt im Gleichgewicht halten zu können, setzt sich zusammen aus der Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung einerseits und aus der Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung andererseits. Wie eingangs schon erwähnt, kann dieser Wärmehaushalt nur aufrecht und ungestört gehalten werden, wenn die Umgebungs- und Aufenthaltsluft, in der der Mensch lebt, einen entsprechenden Luftzustand aufweist. Das Behaglichkeitsempfinden des menschlichen Körpers hängt jedoch nicht nur von der Raumlufttemperatur, sondern auch von der Luftfeuchtigkeit wesentlich ab. Infolge zu hoher Luftfeuchtigkeit z. B. vermindert sich das Dampfdruckgefälle zwischen Haut und Luft und vermindert dadurch bei hohen Temperaturen die Schweißverdunstung. Um so unangenehmer wirkt sich ein solcher Luftzustand aus, je höher die dem menschlichen Körper gestellten Aufgaben sind, da bei steigender Anstrengung die Schweißverdunstung auch ansteigt. Da die Verdunstungswärme und die Wasserdampfmenge infolge des hochgesättigten Zustandes der Raumluft nur

verzögernd und ungenügend vom menschlichen Körper abgegeben werden können, bildet sich in diesem eine Wärmestauung. Der Wärmehaushalt und somit auch das Wohlbefinden des menschlichen Körpers sind gestört. Sehr stark ist die Wirkung von Menschenanhäufungen auf die Luftverhältnisse in geschlossenen Räumen infolge der erwähnten Wärme- und Wasserdampfabgabe der Menschen, wozu sich noch die Riechstoffe gesellen. Letztere Stoffe sind komplizierte organische Verbindungen, die teils durch die Haut, teils durch den Atem abgegeben werden.

Es ist also festzustellen, daß die Lüftungs- und insbesondere die Klimaanlage in unmittelbarer Beziehung zu dem menschlichen Dasein stehen. Den Forderungen der Hygiene entsprechend, sind vor allem größere Räume zu gestalten, wie Versammlungsräume, Krankenzimmer, Arbeitsräume.

Die hygienischen Grundlagen der Klimatechnik werden in den nachstehenden Ausführungen dargestellt. Die Abhandlung beschränkt sich nun auf die für den Klima- und Lüftungs-Ingenieur erforderlichen Grundlagen.

2. Der menschliche Körper und sein Wärmehaushalt.

Der menschliche Körper entwickelt Wärme durch den Stoffwechselprozeß einerseits und andererseits durch Muskelbewegung. Er bildet also selbst einen kleinen Ofen und muß ein bestimmtes Maß von Wärme abgeben. Der Wunsch nach Regulierung dieser Wärmeabgabe im Winter durch Heizung der Aufenthaltsräume und im Sommer durch entsprechend kühle Plätze (Schatten, am Wasser oder im schwachen Winde) ist wohl ungefähr so alt, wie der Mensch selbst. In gesundem Zustand besitzt der menschliche Körper die Fähigkeit, unter den verschiedensten Umgebungsbedingungen seine Innentemperatur von etwa 37° C aufrechtzuerhalten. Bei dieser Temperatur arbeiten seine Organe richtig. Aus der mit der Nahrung auf dem Blutwege zugeführten potentiellen Energie entsteht durch die Verbrennungsprozesse in den Organen (innere Atmung) Wärme. Diese Wärmeerzeugung nennt man hierbei „chemische Wärmeregulierung“. Hierzu gesellt sich die Wärmeerzeugung durch ein arbeitendes Organ (Muskeltätigkeit). Das arbeitende Organ wirkt hierbei wie ein Verbrennungsmotor und wird durch das strömende Blut wie ein solcher durch das Kühlwasser abgekühlt. Das erwärmte Blut bringt nun den der Abkühlung ausgesetzten Organen und Körperteilen die erforderliche Wärmemenge und sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Wärme im Körper. Wird nun infolge starker Muskeltätigkeit der Gesamtkörper stark erwärmt, ohne daß der Wärmeüberschuß entsprechend der Produktion schnell abgegeben werden kann, so ist der Wärmehaushalt gestört und es treten Unbehagen, Kopfschmerz und Müdigkeit ein. Diese Beschwerden können bei unverminderter

Wärmeproduktion und Wärmestauung im menschlichen Körper bis zum eigentlichen Hitzschlag führen. Da jedoch hierbei längst vor dem Eintreten dieser bedrohlichen Lage das Wohlbefinden beeinträchtigt wird, läßt die Arbeitsfähigkeit vorher erheblich nach. Das Umgekehrte tritt ein, wenn der Körper übermäßigem Wärmeverlust ausgesetzt ist. Es tritt das Bedürfnis nach stärkerer Bewegung und Wärmeproduktion ein. So verfallen manchmal verschiedene Muskel in regelmäßige Zuckungskrämpfe, das sogenannte „Schlottern“. Dadurch versuchen diese Organe die verlorene Wärmemenge zu erzeugen. Bei übermäßigem Wärmeverlust macht sich das Bedürfnis nach Nahrungsaufnahme und Muskelbewegung, zur Erzeugung von Wärme, bemerkbar. Die äußere Wärmeabgabe des menschlichen Körpers, welche von den physikalischen Umgebungsbedingungen abhängig ist, nennt man „physikalische Wärmeregulation“.

Das eigentliche Hauptorgan der Wärmeregulation ist jedoch die Haut. Die Haut grenzt den menschlichen Körper von der Außenluft ab. Unter der Haut verläuft ein dichtes Maschenwerk von feinsten Blutgefäßen, die die Wärme- oder Kältemeldungen durch das Hauttemperaturgefühl melden. Jede Temperaturänderung wird von den Hautnerven durch eine Erweiterung oder Zusammenziehung der Muskelfasern beantwortet. Die Hauttemperaturregelung erfolgt nun in dem Sinne, daß einer wechselnden Wärmeabgabe entgegengewirkt wird, d. h., wird die Abkühlung des Körpers größer, dann wird die Durchblutung der einzelnen Organe erhöht und nach der Erreichung des Beharrungszustandes wird die Durchblutung wieder auf das Erforderliche vermindert. Diese Regelung der Hauttemperatur ist jedoch, wie schon erwähnt, beschränkt, so reicht z. B. bei höheren Temperaturen diese Regelung durch Verminderung der Durchblutung nicht mehr aus. In diesem Falle tritt zur Entwärmung ein zweiter Vorgang in Tätigkeit, und zwar die „Schweißsekretion“ durch die an der ganzen Haut verteilten Schweißdrüsen. Durch die Verdunstung des Schweißwassers können dem Körper ganz beträchtliche Wärmemengen entzogen werden. Von einer Entwärmung kann jedoch noch nicht gesprochen werden, solange das Schweißwasser nicht verdunstet. Die Schweißdrüsen scheiden so viel Wasser aus, daß die der Haut entzogene Wärmemenge (zur Verdampfung des Schweißwassers) die Gesamtwärmeabgabe des Körpers konstant halten kann. Weitere Verschlechterung der Umgebungsbedingungen, die durch die selbsttätige Wärmeregulation des Körpers nicht mehr bewältigt werden kann, führt dann zu den schon erwähnten Wärmestauungen, die das Unbehagen usw. verursachen. Je nach der Widerstandsfähigkeit des Körpers können extreme Verhältnisse zu Gesundheitsschädigungen und zum Tode führen. Umgekehrt kann auch zu starke Entwärmung infolge Kältewirkungen gesundheitsschädlich verlaufen und zu Erkrankungen führen. Hierbei spielt der Gesundheitszustand der Personen eine nicht unwesentliche Rolle.

Nebenbei sei noch erwähnt, daß der auf die Atmung entfallende Wärmeanteil der Entwärmung sehr gering ist und nur eine untergeordnete Rolle bei der physikalischen Wärmeregulung spielt.

3. Die Behaglichkeitsmaßstäbe.

a) Die Hauttemperatur.

Da die Haut für die Wärmeregulung des menschlichen Körpers, wie bereits erwähnt, von großer Bedeutung ist, wurde diese zur Beurteilung der Behaglichkeit und des Wohlbefindens herangezogen, d. h. die Hauttemperatur wurde gemessen. Die Hauttemperatur wurde als Maßstab für die Wirkung der Umgebungsbedingungen auf den menschlichen Körper benutzt. Bei den grundlegenden Versuchen von Reichenbach und Heymann ergab sich, daß die Stirn für Hauttemperaturmessungen am geeignetsten ist. Hierbei wurden die Beziehungen zwischen Stirntemperatur und Lufttemperatur und dem allgemeinen Wohlbefinden bei größeren Windgeschwindigkeiten untersucht und deren Beziehungen zum Katawert (Trockenkata) bei einer mittleren Luftfeuchtigkeit festgestellt. An zwei Personen wurden die Stirntemperaturen bei Windgeschwindigkeiten bis 20 m/sec und Lufttemperatur von 15—25° C in systematischer Weise kombiniert gemessen. Heymann und Korff-Petersen stellten hierbei fest, daß die Versuchspersonen bei einer Stirntemperatur von 30,5—32,5° C Wohlbefinden zeigten. Die Lufttemperatur betrug hierbei 16—20° C der Katawert von 6—5, so daß bei mittlerer Feuchtigkeit und ruhender Luft ein Trockenkatawert von 6—5 als normal gelten kann. Bei normaler Bekleidung würde also in normalen Wohnräumen bei einer Raumlufttemperatur von 19° C und mittlerem Feuchtigkeitsgehalt der Raumluft das Wohlbefinden gesichert sein. Außerdem wurde festgestellt, daß jeder Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit eine bestimmte Stirntemperatur und ein bestimmter Katawert entspricht, so daß die Stirntemperatur der einzelnen Versuchspersonen jenen annähernd vorausgesetzt werden konnte.

Aus der Abb. 6 ist ersichtlich, daß die Stirntemperatur bei zunehmender Luftgeschwindigkeit abnimmt, und zwar um so mehr, je tiefer die Lufttemperatur liegt. Strauß und Schwarz stellten außerdem fest, daß die Stirntemperatur bei Temperaturen über 30° C durch Luftbewegung nur noch wenig, und bei Temperaturen über 35° C nicht mehr beeinflußt werden kann.

Der beschriebene Behaglichkeitsmaßstab ist nicht gerade einfach anzuwenden, um so weniger, als — um ein genaues Resultat erhalten zu können — die Messungen an mindestens zwei bis drei Personen ausgeführt werden müssen. Außerdem ist die Messung der Stirntemperaturen der Versuchspersonen zeitraubend, und bei den meist voneinander verschie-

denen Stirntemperaturen läßt sich die Allgemeingültigkeit und Beurteilung der Stirntemperaturen nur schlecht bestimmen.

Im weiteren werden zwei Behaglichkeitsmaßstäbe besprochen, welche dem Lüftungs- und Klima-Ingenieur besser in der Hand liegen werden.

b) Das Katathermometer.

Das Katathermometer entstand aus dem Bestreben, die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers in irgendeiner Weise nachzuahmen. Mit diesem wird also eigentlich kein Zustand, sondern ein Vorgang gemessen. Dieses sehr brauchbare Meßgerät stellte im Jahre 1916 der englische Forscher Leonhard Hill her.

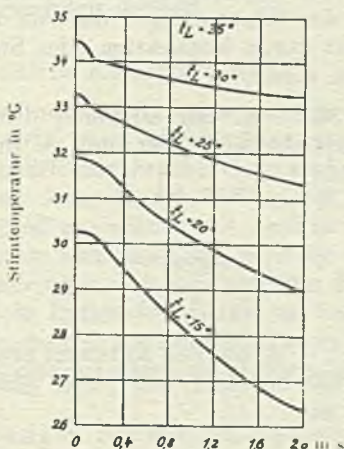


Abb. 6. Abhängigkeit der Stirntemperatur von der Luftgeschwindigkeit bei verschiedenen Lufttemperaturen.



Abb. 7. Katathermometer

Das Katathermometer ist im wesentlichen nichts anderes als ein einfaches Alkohol-Stabthermometer, dessen Gefäß 4 cm lang ist und dessen Durchmesser 1,8 cm beträgt. Das Gefäß ist meist mit einer rotgefärbten Flüssigkeit, als „Weingeist“ bezeichnete Xylol-Toluol-Mischung, gefüllt. Die Kapillare dieses Thermometers trägt nun zwei Marken, und zwar die eine bei 35°C und die andere bei 38°C . Für den Gebrauch erwärmt man nun das Katathermometer auf eine Temperatur, die etwa bei 40°C liegt. Das geschieht am einfachsten durch Eintauchen in ein mit warmem Wasser gefülltes Gefäß. Hierbei erwärmt sich die Kapillarflüssigkeit und steigt in die obere Erweiterung. Nach gutem Abtrocknen des noch anhaftenden Wassers mit einem weichen und gut wasseraufnehmenden Tuch wird nun das Katathermometer an die Meß-

stelle gebracht. Mittels einer genauen Stoppuhr wird nun die Zeit abgestoppt, welche der Alkoholfaden beansprucht, um die Teilung von 38°C auf 35°C zu durchgehen. Während dieser Abkühlungszeit z wird von dem Thermometergefäß immer eine gleichgroße Wärmemenge, und zwar unabhängig von den jeweiligen Umgebungsbedingungen, abgegeben. Diese gleichbleibende Wärmemenge Q ist das Produkt aus Wasserwert und Temperaturabfall und wird nach der Eichung jedes Katathermometers in dessen Stiel eingraviert. Wird nun einerseits die ermittelte Zeit in Sekunden durch die am Instrument als Ergebnis der Eichung angegebene Zahl Q dividiert, so erhält man den sogenannten „Katawert“. Für die Bezeichnung „Katawert“ wird auch des öfteren „Abkühlungsgröße“ oder „Kühlstärke“ verwendet. Andererseits erhält man, wenn man die abgestoppte Zeit in Sekunden mit der Eichziffer Q multipliziert, die Wärmemenge, die von einer auf $36,5^{\circ}\text{C}$ erwärmten Flächeneinheit durch Konvektion oder Strahlungsumsatz der Umgebung abgegeben wird.

Bezeichnen wir mit $\Theta = 36,5 - t_1$ den mittleren Temperaturunterschied zwischen Gefäßoberfläche und Luft und a die äußere Wärmeübergangszahl in $\frac{\text{mgcal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, dann ist

$$Q = a \cdot \Theta \cdot z \quad \text{in} \quad \frac{\text{mgcal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}} \quad (4)$$

Setzen wir für den Quotienten $Q/z = A$, was den Katawert bzw. die Abkühlungsgröße oder die Kühlgröße bedeutet, wie dieser gebräuchlich auch genannt wird, dann ergibt sich:

$$A = \frac{Q}{z} = a \cdot \Theta = a (36,5 - t_1) \quad (5)$$

Nach Hill gelten für bewegte Luft mit der Strömungsgeschwindigkeit w senkrecht zur Thermometerachse die empirischen Gleichungen:

$$a = 0,20 + 0,40 \sqrt{w} \quad \text{für } w \leq 1 \quad (6)$$

$$a = 0,13 + 0,47 \sqrt{w} \quad \text{für } w \geq 1 \quad (7)$$

Hill gab für ruhige Luft die äußere Wärmeübergangszahl a mit

$$a = 0,22 \cdot \Theta^{0,06} = 0,22 (36,5 - t_1)^{0,06} \quad (8)$$

an. Gröber hat aus eigenen Versuchen diese Angabe als richtig gefunden. Ursprünglich gab Hill a zu 0,27 als konstanten Wert an. Da jedoch nach der Lehre des Wärmeüberganges der Wert von dem Temperaturunter-

schied θ abhängen muß, gab Hill nachher den Wert a wie oben in Gleichung 8 an.

Im folgenden unterscheiden wir zwei verschiedene Katawerte, und zwar:

Der trockene Katawert A .

Wird das Katathermometer nach dem Wasserbade, im dem es aufgewärmt wird, gut abgetrocknet, die Messung also im trockenen Zustand vorgenommen, dann wird der errechnete Wert A „trockener Katawert“ genannt, d. h. der trockne Katawert ist nur von der Temperatur und Geschwindigkeit der Luft abhängig. Bei Luftzuständen mit normaler Feuchtigkeit kann also stets mit dem „trocknen Katawert“ gemessen werden.

Der feuchte Katawert A_f .

Wird nun das Katathermometer nach der Erwärmung des Alkohols auf ca. 40° C nicht abgetrocknet, sondern um das Gefäß eine feuchte Musselinhülle angebracht, dann ergibt sich ausgerechnet ein Wert, den man „feuchter Katawert“ nennt. Dieser Wert A_f wird etwa dreimal so groß ausfallen wie A , weil zu der Wärmeabgabe durch Leitung, Konvektion und Strahlung noch die Verdunstungswärme hinzukommt. Untersuchungen mit dem feuchten Katathermometer kommen hauptsächlich in Industriebetrieben bei hoher Temperatur und Feuchtigkeit in Frage, denn in solchen Fällen kann die Entwärmung des menschlichen Körpers fast nur durch die Hautwasserabgabe erfolgen.

Folgerungen für die Klimatechnik.

Das Katathermometer ist m. E. das geeignetste Messungsinstrument für die Ermittlung von Behaglichkeitsziffern. Außerdem können mit ihm Luftgeschwindigkeiten gemessen werden, die mit anderen Instrumenten, wie Anemometer, nicht mehr festzustellen sind. Die Berechnung der Luftgeschwindigkeit erfolgt nach den Gleichungen 9 und 10 je nach der zu erwartenden Geschwindigkeit w . Aus diesen Gleichungen errechnen sich:

$$w = \left[\begin{array}{c} \frac{A}{\theta} - 0,2 \\ 0,4 \end{array} \right]^2 \quad \text{in m/s für } w \leq 1 \text{ m/s.} \quad (9)$$

$$w = \left[\begin{array}{c} \frac{A}{\theta} - 0,13 \\ 0,47 \end{array} \right]^2 \quad \text{in m/s für } w \geq 1 \text{ m/s.} \quad (10)$$

Bei der Vornahme solcher Messungen ist darauf zu achten, daß vom Beobachter selbst keine zusätzliche Luftbewegung hervorgerufen wird. Infolge der hohen Meßempfindlichkeit des Katathermometers würde auch diese zusätzliche Luftbewegung mit gemessen, und es kann vorkommen, daß dadurch ungünstigere Werte gemessen werden, als tatsächlich da sind. Außer der Abkühlungszeit z muß auch bei der Ermittlung der Luftgeschwindigkeit die Lufttemperatur t festgestellt werden. Nach den „Lüftungsregeln“ empfiehlt es sich, das Thermometer zur gleichzeitigen Ermittlung der Lufttemperatur t 15 cm neben dem Katathermometer, und zwar auf gleicher Höhe des Katathermometer-Gefäßes anzubringen. Zur Messung sind stets geeichte Instrumente zu verwenden, um von Anfang an sicher zu sein.

Als angenehm und erträglich wird der Raumlufzustand empfunden
im Winter bei $A = 7$ entsprechend einer Lufttemperatur und
im Sommer bei $A = 6$
Geschwindigkeit von

$$w = 0,17 \text{ m/sec bei } 20^{\circ} \text{ C,}$$

$$w = 0,30 \text{ m/sec bei } 22^{\circ} \text{ C.}$$

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß bei bewegter Luft die Behaglichkeit besser durch Messung der Stirntemperatur als durch den Katawert beurteilt werden kann. Hierbei kann eine Stirntemperatur in den Grenzen von 30° C bis $32,5^{\circ} \text{ C}$ bei einer Raumlufitemperatur von 19° C bis 20° C und einer Luftgeschwindigkeit von $0,2 \text{ m/sec}$ als normal angesehen werden. Katawerte A kleiner als 5 bei bewegter Luft besagen, daß die Raumluf zu warm ist, und Katawerte größer als 9 besagen, daß die Raumluf zu kühl oder die Luftbewegung zu stark ist, oder beides zusammen.

Daß man im Katathermometer ein wertvolles und sehr brauchbares Instrument für lüftungstechnische wie auch für heiztechnische Untersuchungen besitzt, geht aus den beschriebenen Darlegungen hervor. Die Luftbewegung im Raum und deren Verteilung, Zugserscheinungen und Luftgeschwindigkeiten können damit leicht festgestellt werden. Auch zur Beurteilung der Behaglichkeitswirkung der Luftverhältnisse auf den Menschen können die Katawerte unter Berücksichtigung der Lufttemperatur herangezogen werden.

c) Die wirksame Temperatur.

Amerikanische Autoren haben vor etwa 15 Jahren auf Grund außerordentlich ausgedehnter Untersuchungen in die Lehre vom Klima die „effektive Temperatur“ eingeführt. Die „effektive“ Temperatur (auch wirksame Temperatur genannt) ist ein rein subjektiver Maßstab

für die Behaglichkeitswirkung verschiedener Luftzustände. Bei den ausgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, unter welchen verschiedenartigen Luftzuständen das Gefühl der gleichen Temperatur und dann im engeren Sinne das Gefühl des gleichen Grades von Behaglichkeit zustande kommt. Zu diesem Zwecke wurden in zwei Untersuchungskammern geringe und hohe Temperaturen und Feuchtigkeitsgrade

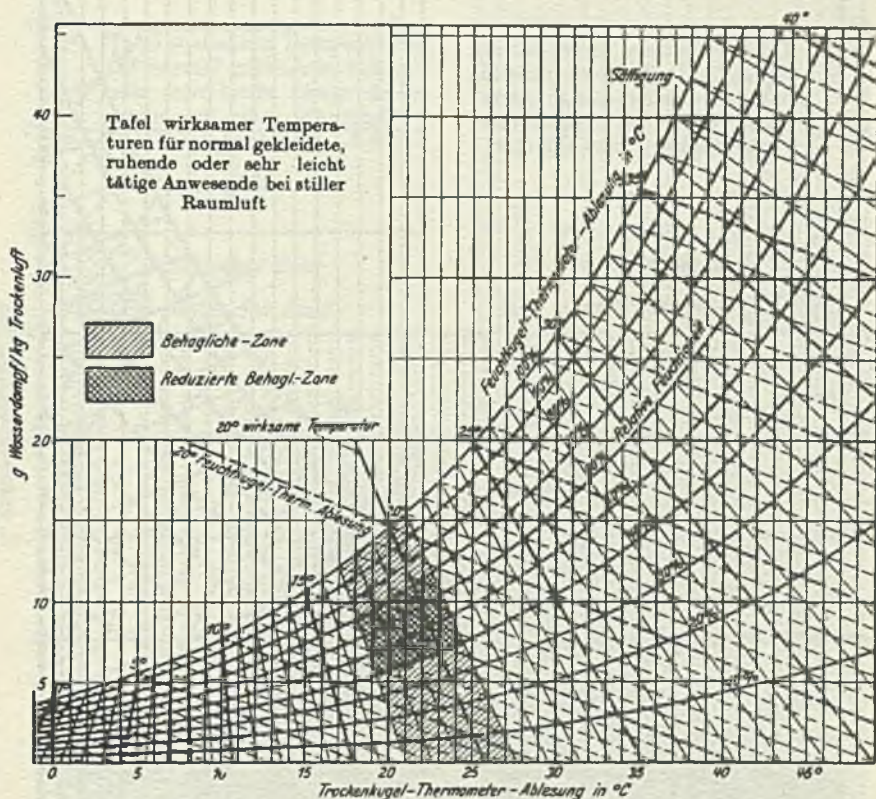


Abb. 8. Wirksame Temperaturen bei stiller Raumluft.

hergestellt. Die Kammern waren gegen äußere Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse bestens geschützt. Nun ließ man die Versuchspersonen nacheinander von der einen in die andere Kammer übertreten und veränderte die Bedingungen so lange, bis die Versuchspersonen beim Wechseln der Kammern das Gefühl der gleichen Wärme hatten. Wurde z. B. eine Temperaturdifferenz festgestellt, dann wurde die Temperatur und Feuchtigkeit der Raumluft so lange kombiniert, bis in den Kammern dasselbe Wärmegefühl empfunden wurde.

Auf einer Psychrometertafel wurden die Ergebnisse der zahlreichen Versuche eingetragen⁹⁾. Bei dieser Psychrometertafel (Abb. 8) sind als Abszisse die Trockentemperatur und als Ordinate der Gehalt der Luft an Wasserdampf in g/kg trockener Luft verwendet worden. Die von links nach rechts ansteigenden Kurven kennzeichnen die relativen

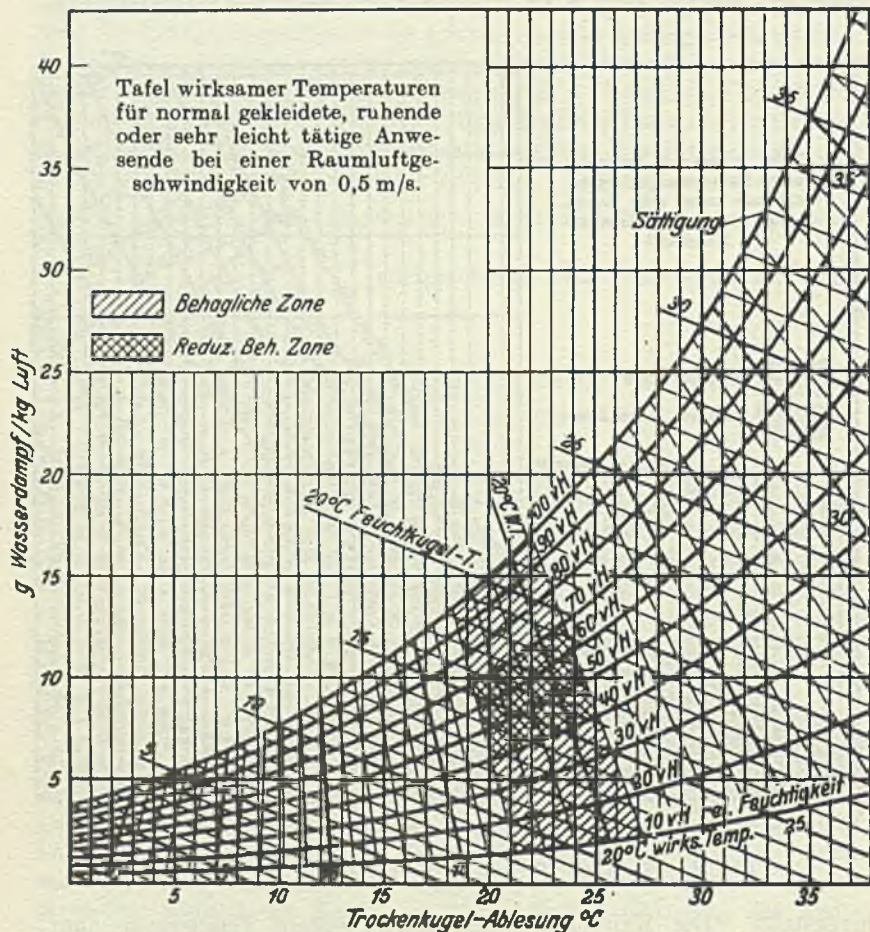


Abb. 9. Wirksame Temperaturen bei einer Raumlufgeschwindigkeit von 0,5 m/sec.

Feuchtigkeiten und sind entsprechend beziffert. Die oberste Linie gilt für 100% und ist somit die Sättigungslinie. Diese gibt für jede Temperatur den Höchstwert des Wasserdampfgehaltes an, welcher nicht überschritten werden kann. Außerdem sind die Naß- und Trockentemperaturen eingetragen. Bei 100% relativer Feuchtigkeit müssen beide

Temperaturen zusammenfallen. Weiter sind noch die wirksamen Temperaturen als Ergebnis der auseinandergesetzten Versuche eingetragen, deren Geraden von oben links nach unten rechts verlaufen. Die Neigung dieser Geraden weist darauf hin, daß mit zunehmender Temperatur größere Trockenheit der Luft verlangt wird. Da die Kleidung die

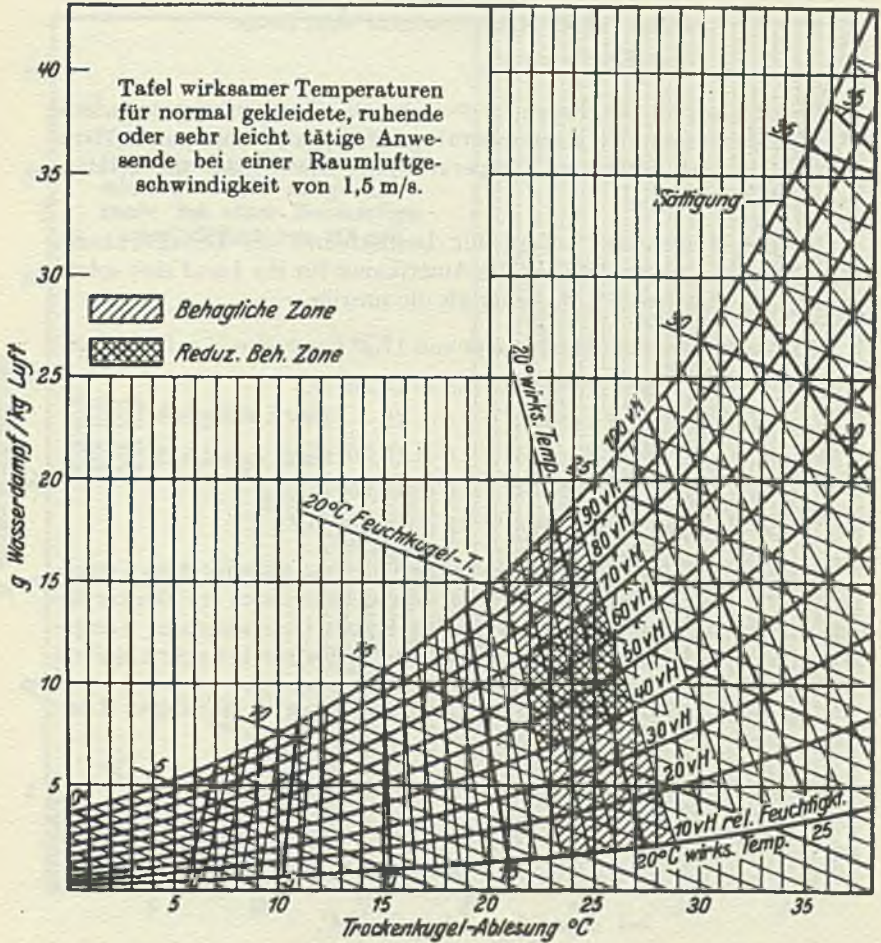


Abb. 10. Wirksame Temperaturen bei einer Warmlufttemperatur von 1,5 m/sec.

Temperatur, in der wir leben, beeinflusst, so daß die Wärmeabgabe des Körpers durch Leitung und Strahlung abnimmt, ist eine Zunahme der Entwärmung durch Wasserdampfabgabe die Folge. Deswegen ist bei gewöhnlichen Verhältnissen die Trockentemperatur von größerer Bedeutung als die Naßtemperatur. Früher bevorzugte man eine be-

stimmte Trockentemperatur für das Wohlbefinden, in der Zwischenzeit eine bestimmte Naßtemperatur und heute eine Kombination beider.

Zum Beispiel war früher zur Behaglichkeit eine Raumlufttemperatur

von 20° C Trockentemperatur empfohlen,
später 13° C Naßtemperatur und heute
eine Kombination.

Bringen wir in der Psychrometertafel die Trockentemperaturlinie 20° C mit derjenigen der Naßtemperatur 13° C zum Schnittpunkt, dann erhalten wir die wirksame Temperatur zu 17,5° C und die relative Feuchtigkeit zu 40%.

Unsere Hygieniker fordern für Deutschland die Behaglichkeits-Trockentemperatur zu 18,8° C, die Amerikaner für ihr Land eine solche von 21,2° C, also fast 2½° C höher als die unsrige.

Zu einer wirksamen Temperatur von 17,5° C gehören in ruhiger Luft:

bei $\varphi = 0,7$	$t = 18,80^{\circ} \text{ C,}$
$\varphi = 0,6$	$t = 19,--^{\circ} \text{ C,}$
$\varphi = 0,5$	$t = 19,50^{\circ} \text{ C,}$
$\varphi = 0,4$	$t = 19,90^{\circ} \text{ C,}$
$\varphi = 0,3$	$t = 20,20^{\circ} \text{ C.}$

Rybka¹⁰⁾ gibt für amerikanische Verhältnisse als wirksame Temperatur 19° C an, bei der sich 97% der Versuchspersonen im Winter behaglich fühlten. Im Sommer empfiehlt Rybka eine wirksame Temperatur von 22° C, bei der sich 98% der Versuchspersonen behaglich fühlten.

Zur wirksamen Temperatur von 19° C gehören in ruhiger Luft:

bei $\varphi = 0,7$	$t = 20,3^{\circ} \text{ C,}$
$\varphi = 0,5$	$t = 21,1^{\circ} \text{ C,}$
$\varphi = 0,3$	$t = 22,3^{\circ} \text{ C.}$

Zur wirksamen Temperatur von 22° C gehören in ruhiger Luft:

bei $\varphi = 0,7$	$t = 23,8^{\circ} \text{ C,}$
$\varphi = 0,5$	$t = 25,0^{\circ} \text{ C,}$
$\varphi = 0,3$	$t = 26,6^{\circ} \text{ C.}$

Meines Erachtens wird eine relative Feuchtigkeit von 50% den tatsächlichen Raumverhältnissen am besten gerecht, da die Luft nicht zu feucht sein darf, weil die Entwärmung des menschlichen Körpers doch, je nach der Bekleidung, z. T. durch Wasserdampfabgabe erfolgt. Eine

geringe Luftgeschwindigkeit, der Behaglichkeit entsprechend etwa 0,2 m/sec, begünstigt die Entwärmung. Die Bekleidung kann je nach der Beschaffenheit (warm bekleidet) als eine Art Feuchtigkeitspuffer wirken. (Deutlich ausgedrückt z. B. beim Gummimantel oder sonstigen wasserundurchlässigen Geweben.)

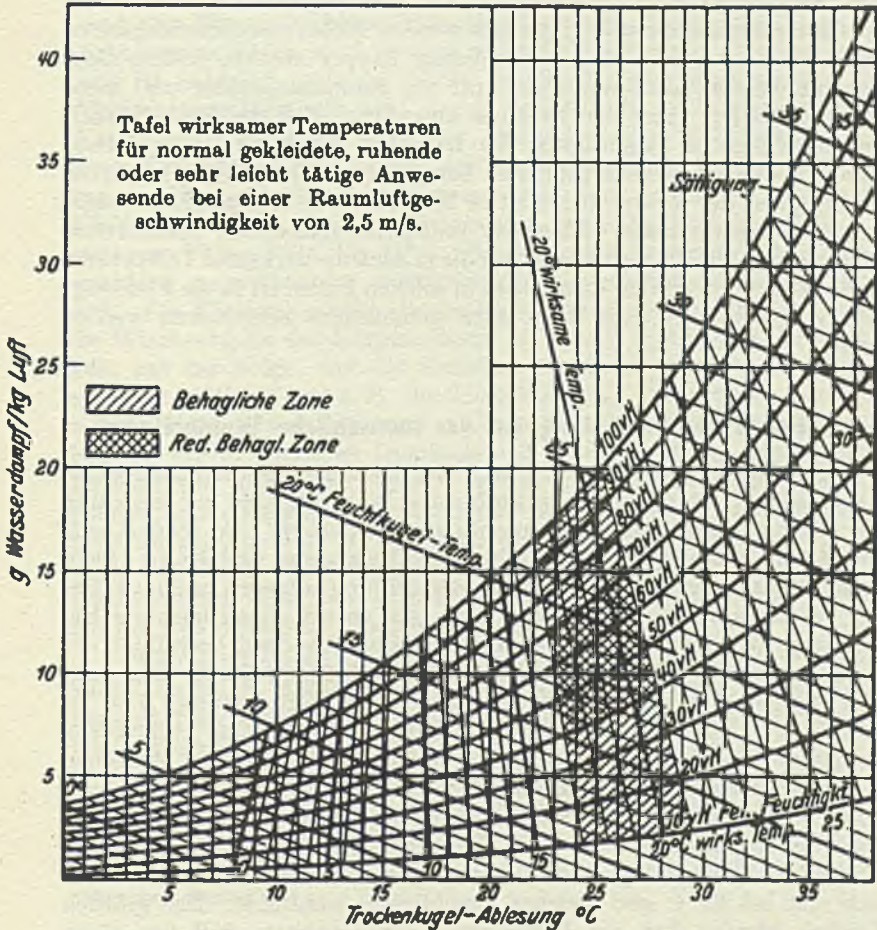


Abb. 11. Wirksame Temperaturen bei einer Raumluftgeschwindigkeit von 2,5 m/sec.

Für unsere Verhältnisse könnten folgende wirksame Temperaturen der Behaglichkeit am besten entsprechen:

Im Winter $t_{\text{eff}} = 17,5^{\circ}\text{C}$ bei $\varphi = 50\%$: $t = 19,50^{\circ}\text{C}$,

im Sommer $t_{\text{eff}} = 21,5^{\circ}\text{C}$ bei $\varphi = 50\%$: $t = 24,40^{\circ}\text{C}$.

Aus den Darlegungen ist also zu erkennen, daß der Eindruck von Wärme, Kälte oder Behaglichkeit bei unveränderlicher Temperatur und Feuchtigkeit innerhalb gewisser Grenzen unverändert gehalten werden kann. Dabei muß die Geschwindigkeit der Luft, welche den Körper trifft, auch in einem bestimmten Verhältnis geändert werden. Je höher die Temperatur, desto geringer muß die Feuchtigkeit und desto höher die Geschwindigkeit der Luft gewählt werden. Höhere Geschwindigkeiten als 0,5 m/sec, welche den menschlichen Körper treffen, sollen nicht gewählt werden, auch wenn die Luft auf Raumtemperatur und mehr vorgewärmt ist. Von der Tatsache ausgehend, daß die Behaglichkeit mit zunehmender Feuchtigkeit der Raumluft gefährdet ist, und zwar sowohl bei tiefen als auch bei hohen Temperaturen, empfiehlt es sich, die Feuchtigkeit der Raumluft mit etwa 50% relativer Feuchtigkeit festzuhalten. Ausnahmefälle bilden hier Industriebetriebe, wie Spinnereien, Webereien, Tabakindustrie usw., für die ja auch die wirksame Temperatur nicht verwendet werden kann, denn in solchen Fällen ist ja die Feuchtigkeit vorgeschrieben, die dann auch genauestens eingehalten werden muß.

4. Einfluß der Bekleidung auf das menschliche Wohlbefinden.

Der Mensch schafft sich durch die Kleidung das unmittelbarste Klima selbst. Diese und dazu noch seine Wohnung sind zur Regelung der Wärmeverhältnisse des menschlichen Körpers da. So schützt sich der Mensch auch gegen Niederschlag, Luftbewegung und Kälte. Dem kalten Winter tritt er durch wärmere Bekleidung entgegen und im Frühling, wenn es wärmer wird, wird auch eine entsprechend leichtere Bekleidung angezogen. Durch diesen Bekleidungswechsel beeinflußt der Mensch einerseits die Wärmeabgabe seines Körpers durch Strahlung und Konvektion und andererseits die Wasserverdunstung, d. h. er schafft und regelt sich sein näheres Klima selbst. Eine einheitliche Bekleidung in dieser Hinsicht kann jedoch nicht für alle Menschen geschaffen werden, denn bekanntlich friert der eine eher als der andere. So ist es auch schwer, eine Behaglichkeitstemperatur für alle zu schaffen, denn der eine fühlt sich bei einer Raumtemperatur von etwa 20° C und 60% relativer Feuchtigkeit wohl, während ein anderer unter Umständen sich erst bei 22° C und gleicher Feuchtigkeit wohlfühlt. Den größten Einfluß hierauf hat die Bekleidung, vorausgesetzt, daß wir einen gesunden und keinen kranken Menschen vor uns haben (blutarme Menschen frieren bekanntlich leichter)

Im nachstehenden soll der Einfluß der Kleidung auf die Entwärmung des menschlichen Körpers untersucht werden. Vorausgehend sei gesagt, daß M. Rubner¹¹⁾ die ganze Lehre von der Kleidung als Klimafaktor im wesentlichen geschaffen hat.

Bei entsprechenden günstigen Raumverhältnissen kann die Entwärmung des nackten menschlichen Körpers ohne Widerstände erfolgen. Ist nun der menschliche Körper vorerstmal nur leicht bekleidet, erfährt die Entwärmung eine geringe Stauung, und zwar so lange, bis der Beharrungszustand erreicht ist. Die Zeit, die bis zur Erreichung des Beharrungszustandes erforderlich ist, hängt im wesentlichen von dem Grad der Wärmedurchlässigkeit des Kleidungsstückes (Gewebes) ab. Dichtgewebte Stoffe sind weniger wärmedurchlässig als lockere, praktisch ist natürlich auch die Dicke des Stoffes sehr maßgebend. Die Wärmeleitungsfähigkeit wird durch den Gehalt an hygrokopischem Wasser außerordentlich vermehrt, besonders bei Wollstoffen. Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß die Kleiderstoffe die Wärmeleitung von der Haut gegen äußere Begrenzungsflächen vermitteln. Unter der Kleidung beträgt die Hauttemperatur normal 32°C bis 33°C , in extremen Fällen 29°C bis 34°C . Bei Vollbekleidung sinkt die Wärmestrahlung gegenüber der Ausstrahlung bei nacktem Körper auf etwa 33%. Die Kleidung erhöht also die Temperatur, in der wir leben, so daß die Wärmeabgabe des Körpers durch Strahlung und Leitung abnimmt. Dies hat zur Folge, daß die Entwärmung durch Wasserdampfabgabe zunimmt. Weist nun z. B. die Umgebungsluft (Raumluft) eine hohe relative Feuchtigkeit auf, wird u. U. die Kleidung Anlaß zur Schweißbildung geben, was eine Durchnässung jener zur Folge haben kann. Es empfiehlt sich daher, diese Tatsache zu berücksichtigen und eine entsprechende Raumlufffeuchtigkeit zu wählen. Andererseits ist darauf auch zu achten, daß die Kleidung die Wasserdampfabgabe nicht zu stark beeinflußt, denn diese Hemmung führt häufig zu einer Durchfeuchtung der Haut, was in der Ruhestellung nach der Arbeit infolge starker Abkühlung zu Erkältungen führen kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Größe der Wasserdampfabgabe in komplizierter Weise von Windstärke, Temperatur, Intensität der Bewegung, relativer Feuchtigkeit der Luft und Dicke sowie Beschaffenheit der Kleidung abhängt.

Aus diesen Tatsachen läßt sich die Folgerung ziehen, daß bei Klagen über Unbehaglichkeit vielfach letztere von den Menschen durch übermäßige oder zu geringe Bekleidung selbst hervorgerufen wird, so daß man den Klimaanlage (Luftzustand) diese Schuld nicht immer zuschreiben kann.

5. Wärme- und Wasserdampfabgabe des menschlichen Körpers.

a) Wärmeabgabe.

Wie wir aus dem Abschnitt „Der menschliche Körper und sein Wärmehaushalt“ wissen, setzt sich die Wärmeabgabe aus den Teilbeträgen der Wärmeabgabe durch Leitung, Konvektion und Strah-

lung zusammen. Bezeichnen wir diese Wärmeabgabe als „trockne Wärme“ Q_{tr} und die durch Verdunstung abgegebene Wärmemenge als „feuchte Wärme“ Q_f , dann ergibt sich die von dem menschlichen Körper abgegebene Gesamtwärmemenge Q zu:

$$Q = Q_{tr} + Q_f \quad \text{in kcal/h.} \quad (11)$$

Die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers kann nicht errechnet werden und läßt sich nur durch Versuche bestimmen, was amerikanische Heizungs- und Lüftungsingenieure vornahmen, und zwar bei verschiedenen Raumlufzuständen.

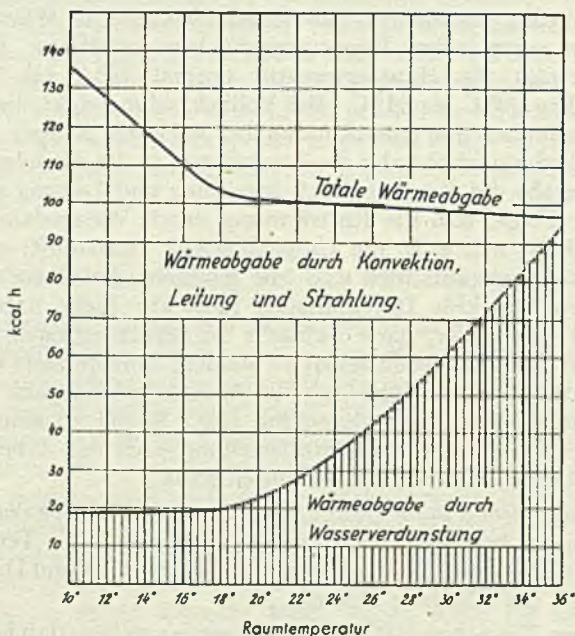


Abb. 12. Wärmeabgabe des normal gekleideten Menschen in Abhängigkeit von der Raumtemperatur. — Die Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung ist durch senkrechte Schraffen gekennzeichnet.

Aus der Abbildung 12 ist ersichtlich, daß von ca. 20° C an aufwärts die totale Wärmeabgabe über einem größeren Lufttemperaturbereich ziemlich gleichbleibt, was in erster Linie mit der Teilwärmeabgabe durch Verdunstung zusammenhängt, die durch die untere Kurve zum Ausdruck kommt¹²⁾. Sie ist unterhalb 20° C wenig veränderlich, steigt oberhalb 20° C aber fühlbar und proportional der Raumtemperatur an, und diesem Umstande ist es in erster Linie zu verdanken, daß die Entwärmung des menschlichen Körpers bei höheren Raumtemperaturen überhaupt gesichert ist. Daß sie mit steigender Temperatur in steigendem

Maße durch Verdunstung bestritten werden muß, bedeutet natürlich keine ausgesprochene Annehmlichkeit, denn die Schweißbildung ist für uns nicht besonders behaglich. Was zwischen Verdunstung und Gesamtwärmeabgabe übrigbleibt, wird durch Konvektion und Strahlung bestritten, und deren Zusammenhang mit der Lufttemperatur wird deutlicher, wenn man nach Abb. 13 die Verdunstung zuerst von der Gesamtwärmeabgabe abzieht, so daß für Konvektion und Strahlung noch die schrägschraffierte Fläche übrigbleibt¹²⁾.

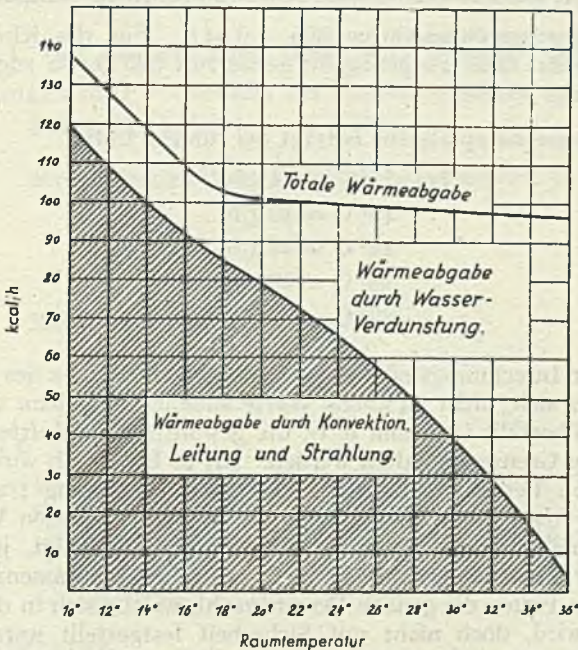


Abb. 13. Wärmeabgabe des normal gekleideten Menschen in Abhängigkeit von der Raumtemperatur. — Die Wärmeabgabe durch Konvektion, Leitung und Strahlung ist durch schräge Schraffen gekennzeichnet.

Aus den Abbildungen 12 und 13 ist außerdem ersichtlich, daß die Gesamtwärmeabgabe für einen ruhig sitzenden oder leichte Arbeit verrichtenden Menschen zu 100 kcal/h in Rechnung gestellt werden kann. Wird jedoch körperliche Arbeit verrichtet, kann bei mittlerer körperlicher Arbeit die Gesamtwärmeabgabe mit 200 bis 250 kcal/h zugrunde gelegt werden. Bei schwerster Arbeit etwa 400 bis 550 kcal/h.

b) Die Wasserdampfabgabe.

Wie schon erwähnt, hat die Wasserdampfabgabe genau wie die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers auf die Bemessung einer

Klimaanlage großen Einfluß. Besonders in dichtbesetzten Räumen macht sich die Wasserdampfabgabe der Menschen bemerkbar. Wird nun die stündliche Feuchtigkeitsabgabe mit G bezeichnet, so ist:

$$G = \frac{Q_f}{r} \cdot 1000 \text{ in g/h} \quad (12)$$

Hierin bedeuten:

Q_f = die feuchte Wärme (aus Abb. 12 und 13 zu entnehmen),

r = Verdampfungswärme 595 — 0,54 t. Für die Klimatechnik kann diese als genügend genau mit 580 kcal/h zugrunde gelegt werden.

Die Wasserdampfabgabe beträgt bei ruhiger Luft:

bei 18° C = 34 g/h,

20° C = 40 g/h,

22° C = 48 g/h,

24° C = 60 g/h,

26° C = 73 g/h.

Bei der Inrechnungstellung der Feuchtigkeitsabgabe des Menschen empfiehlt es sich, nicht zu kleine Werte anzunehmen, denn wenn z. B. ein Raum überfüllt ist, kann u. U. die gewährte Raumluftfeuchtigkeit nicht in den Grenzen gehalten werden. Mit 60 bis 70 g/h wird man der tatsächlichen Feuchtigkeitsabgabe am besten Rechnung tragen, d. h. im Winter 60 g/h und im Sommer etwa 70 g/h. In diesen Werten ist eine eventuelle Überfüllung eines Raumes berücksichtigt, jedoch nur bis zu einer Überfüllung von 14% der vorgesehenen Insassenzahl, da in den meisten Fällen die genaue Personenzahl, welche sich in dem Raum aufhalten wird, doch nicht mit Sicherheit festgestellt werden kann.

III. Abschnitt.

Theoretischer Teil.

Der größte Teil der Klimaanlagen, insbesondere aber die als Komfortanlagen bezeichneten Klimazentralen für Arbeits- und Aufenthaltsräume haben die grundsätzliche Aufgabe zu erfüllen, im Winter die zu klimatisierenden Räume zu erwärmen, die geforderte Luftmenge entsprechend zu befeuchten, zu reinigen und für die Aufbringung der mit Rücksicht auf die Personen notwendigen Frischluftmenge Sorge zu tragen.

Im Sommer hat die Klimaanlage unter Anwendung der notwendigen Kühllast eine entsprechende Abkühlung der Räume gegenüber der Außenlufttemperatur und eine Übersättigung der Raumluft zu verhindern; sie muß also im Sommer eine Lufttrocknung und Kühlung vornehmen.

Alle die erwähnten Vorgänge sind jedoch physikalischen Gesetzen unterworfen. Für die richtige Erfassung der Vorgänge in Klimaanlage ist die Kenntnis dieser physikalischen Gesetze unerläßlich. Aus diesem Grunde werden folgend die Gasgesetze usw. beschrieben.

1. Der Zustand eines Gases wird bestimmt durch

a) Raumgewicht γ (Gewicht der Raumeinheit)

Dimension kg/m^3

der Reziproke-Wert $\frac{1}{\gamma}$ heißt spez. Volumen v

$$v = \frac{1}{\gamma} \text{ m}^3/\text{kg},$$

Rauminhalt der Gewichtseinheit $\gamma = \frac{1}{v}$

$$G = V \cdot \gamma = V \cdot \frac{1}{v}; \quad v = \frac{V}{G}$$

b) Druck

Dieser muss im Allgemeinen als absoluter Druck in die Rechnung eingeführt werden, und zwar in kg/cm^2 $76 \text{ cm Hg} = 760 \text{ mm Hg} = 1033 \text{ gr/cm}^2 = 1,033 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ at} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ m Wassersäule} = 10\,000 \text{ mm WS} = 10\,000 \text{ kg/m}^2 = 735,6 \text{ mm Hg}$.

c) Temperatur.

Die Temperatur wird in $^{\circ}\text{C}$ gemessen und mit t bzw. als absolute Temperatur T bezeichnet.

2. Beziehung zwischen absolutem Druck und Volumen bei gleichbleibender Temperatur.

Gesetz von Boyle-Mariotte.

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 \quad (13)$$

Da Druck und Volumen im Verhältnis vorkommen, können sie auch in beliebigem Maß eingesetzt werden.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad (14)$$

3. Beziehung zwischen Volumen und Temperatur bei gleichbleibendem Druck.

Gesetz von Gay-Lussac.

Das Gas dehnt sich bei Erwärmung um 1°C um $\alpha = \frac{1}{273}$ des Volumen aus, das es bei 0°C hätte

$$v_1 = v_0 + v_0 \cdot \alpha \cdot t_1 = v_0 (1 + \alpha \cdot t_1),$$

$$v_2 = v_0 + v_0 \cdot \alpha \cdot t_2 = v_0 (1 + \alpha \cdot t_2),$$

$v_0 =$ Anfangsvolumen,

$v_0 \cdot \alpha \cdot t_1 =$ Volumenzunahme,

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_0 (1 + \alpha \cdot t_1)}{v_0 (1 + \alpha \cdot t_2)} = \frac{1 + \frac{1}{273} \cdot t_1}{1 + \frac{1}{273} \cdot t_2}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{273 + t_1}{273 + t_2} = \frac{273 + t_1}{273 + t_2},$$

t_1 und t_2 sind Celsiusgrade.

Man kann dann dem Wert $273 + t_1$ und $273 + t_2$ den Charakter von Temperaturen beilegen, die von einem Nullpunkt aus gemessen werden, der um 273°C unter der Temperatur des schmelzenden Eises liegt. Dieser Nullpunkt heißt der absolute Nullpunkt. Die von ihm gemessenen Temperaturen heißen absolute Temperaturen und werden mit T bezeichnet.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{oder} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (15)$$

4. Allgemeine Zustandsgleichung.

Gegeben ist der Zustand $v_1; p_1; t_1$. Das Gas soll in den Zustand $v_2; p_2; t_2$ übergeführt werden. Zunächst ändert sich der Druck von p_1 auf p_2 bei gleichbleibender Temperatur t_1 . Es entsteht dann ein Zwischenvolumen v' .

Nach Mariotte ist

$$v_1 \cdot p_1 = v' \cdot p_2,$$

$$v' = \frac{v_1 \cdot p_1}{p_2}.$$

Nun wird das Volumen v' bei gleichbleibendem Druck p_2 von der Temperatur t_1 auf t_2 gebracht.

Nach Gay-Lussac ist

$$\frac{v'}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad T_1 = 273 + t_1, \\ T_2 = 273 + t_2,$$

$$v_2 = v' \cdot \frac{T_2}{T_1}. \quad \text{Mit obigem Wert für } v' \text{ wird dann}$$

$$\frac{v_1 \cdot p_1}{T_1} = \frac{v_2 \cdot p_2}{T_2} \quad \text{allgemeine Zustandsgleichung.} \quad (16)$$

Das heißt, das Produkt aus spez. Volumen und absolutem Druck, dividiert durch die absolute Temperatur ergibt für ein und dasselbe Gas einen konstanten Wert, den man mit R bezeichnet.

R = Gaskonstante,

$$R = \frac{v \cdot p}{T} = \frac{m}{C_{\text{abs}}}. \quad (17)$$

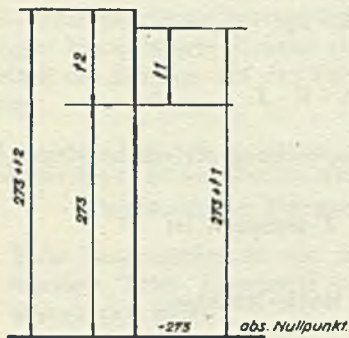


Abb. 14.

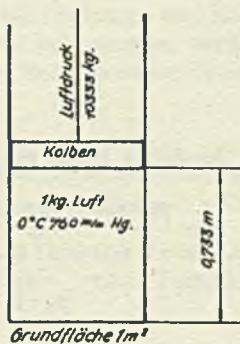


Abb. 15.

Zum Beispiel:

für Luft $\gamma = 1,293 \text{ kg/m}^3$ (760),

$$v = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{1,293} = 0,773 \text{ m}^3/\text{kg},$$

$$T = 273,$$

$$p = 10333 \text{ kg/m}^2.$$

$$R = \frac{0,773 \cdot 10333}{273} = 29,3 \text{ m}^0 C_{\text{abs}}.$$

Sämtliche Rechnungen sind mit dem Rechenschieber durchgeführt und entsprechend zu bewerten.

Mechanische Darstellung der Gaskonstante.

Die Luft von 0° wird auf 1° C erwärmt. Volumenzunahme

$$\frac{1}{273} = 0,773 = 0,00283 \text{ m}^3.$$

Der Kolben wird also um 0,00283 m gehoben. Arbeit zur Überwindung des Luftdruckes

$$= 10333 \cdot 0,00283 = 29,3 \text{ mkg.}$$

Dies ist zweckmäßig der Wert der Gaskonstante.

Aus $\frac{p \cdot v}{T} = R$ folgt $p \cdot v = R \cdot T$. In dieser Form gilt die Zustandsgleichung nur für 1 kg Gas. Sind G kg Gas vorhanden mit dem Volumen V , so wird: $v = \frac{V}{G}$. Damit erhält man

$$p \cdot \frac{V}{G} = R \cdot T,$$

$$p \cdot V = G \cdot R \cdot T. \quad (18)$$

In dieser Form gilt die Zustandsgleichung für ein beliebiges Gas.

Aus $\frac{p_1 \cdot v_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot v_2}{T_2}$ folgt, wenn T konstant ist

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 \quad \text{Boyle-Mariotte.}$$

Mit $v_1 = \frac{1}{\gamma_1}$ und $v_2 = \frac{1}{\gamma_2}$ wird nun

$$p_1 \cdot \frac{1}{\gamma_1} = p_2 \cdot \frac{1}{\gamma_2}; \quad \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{p_1}{p_2}; \quad \text{das heißt}$$

die Raumgewichte sind den absoluten Drücken direkt proportional.

Ist der Druck p konstant, so ist

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{Gay-Lussac} \quad (19)$$

$$\frac{1}{\gamma_1} = \frac{T_1}{T_2}, \quad \gamma_1 = \frac{T_2}{T_1}, \quad \gamma_1 \cdot T_1 = \gamma_2 \cdot T_2.$$

Die Raumgewichte sind ihrer Temperatur indirekt proportional.

Beispiel:

$$v_1 = 100 \text{ m}^3 \text{ Luft}; \quad p_1 = 10333 \text{ mm},$$

$$v_2 = \quad ? \quad ; \quad p_2 = 10433 \text{ mm},$$

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2,$$

$$v_2 = \frac{p_1 \cdot v_1}{p_2} =$$

$$\frac{10333 \cdot 100}{10433} = 99,04 \text{ m}^3.$$

Die Volumenänderung beträgt hier 0,96%. Da bei Lüftungs- und Klimaanlagen kaum höhere Drücke als 150 mm WS. vorkommen, wird der Einfluß des Druckes auf das Volumen bei den Berechnungen vernachlässigt.

Zwei Rechenbeispiele, um sich mit der Anwendung der abgeleiteten Formeln vertraut zu machen.

1. Eine Sauerstoffflasche mit 40 l Inhalt und 150 atü Druck kann wieviele Liter Sauerstoff nutzbar abgeben? Die Temperatur ändert sich nicht.

$$v_1 = 40 \text{ Liter},$$

$$p_1 = 151 \text{ ata (150 atü)},$$

$$p_2 = 1 \text{ ata},$$

$$v_2 = ?.$$

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2,$$

$$v_2 = \frac{p_1 \cdot v_1}{p_2} = \frac{151 \cdot 40}{1} = 6040 \text{ Liter}.$$

Das heißt, es können 6000 Liter nutzbar entnommen werden (40 l O₂ bleiben bei Atmosphärendruck in der Flasche).

Faustregel.

Nutzbare Gasmenge = Rauminhalt der Flasche mal Überdruck (ablesen am Manometer).

2. Eine Sauerstoffflasche soll gefüllt werden, so daß bei $+15^{\circ}\text{C}$ der Druck 150 atü beträgt. Gastemperatur beim Füllen 25°C . Wie groß muß der Fülldruck sein?

$$p_2 = 151\text{ ata,}$$

$$T_2 = 273 + 15 = 288^{\circ}\text{C,}$$

$$T_1 = 273 + 25 = 298^{\circ}\text{C,}$$

$$p_1 = ?$$

$$\frac{v_1 \cdot p_1}{T_1} = \frac{v_2 \cdot p_2}{T_2},$$

da $v_1 = v_2$ ist, wird $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$; $p_1 = \frac{p_2 \cdot T_1}{T_2}$,

$$p_1 = \frac{151 \cdot 298}{288} = 156\text{ ata.}$$

Nach der Regel von Avogadro sind bei gleicher Temperatur und gleichem Druck in gleichen Räumen gleichviel Moleküle eines Gases enthalten. Demnach müssen sich die Raumgewichte des Gases wie die Molekulargewichte „ m “ verhalten. Für zwei beliebige Gase ist dann:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{m_1}{m_2} \text{ da } \gamma_1 = \frac{1}{v_1} \text{ und } \gamma_2 = \frac{1}{v_2} \text{ ist,}$$

wird

$$\frac{1}{\frac{v_1}{m_1}} = \frac{1}{\frac{v_2}{m_2}} \text{ oder } \frac{v_1}{m_1} = \frac{v_2}{m_2},$$

$$v_1 \cdot m_1 = v_2 \cdot m_2 \quad (20)$$

v_1 und v_2 sind die Rauminhalte von einem kg Gas, demnach kann man $m_1 \cdot v_1$ und $m_2 \cdot v_2$ als die Rauminhalte von m_1 und m_2 kg Gas betrachten. Ein Gewicht von m kg eines Gases bezeichnet man als Kilogrammolekül oder „Mol“. $m_1 \cdot v_1$ und $m_2 \cdot v_2$ sind dann die Rauminhalte in kg von einem Mol, und werden „Mol-Volumen“ genannt. Sie sind für alle Gase bei gleicher Temperatur und gleichem Druck gleich,

z. B. Sauerstoff:

$$m_{O_2} = 32; = 1,429 \text{ kg/m}^3; v = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{1,429}$$

$$v \cdot m = \frac{1}{1,429} \cdot 32 = 22,4 \text{ m}^3;$$

z. B. Wasserstoff:

$$m_{H_2} = 2; = 0,0899; v = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{0,0899}$$

$$m_{H_2} = \frac{1 \cdot 2}{0,0899} = 22,4$$

$$\text{Raumgewicht} = \frac{\text{Molekulargewicht}}{\text{Molvolumen (22,4)}}$$

Setzt man die Zustandsgleichung für ein beliebiges Gasgewicht

$$p \cdot v = G \cdot R \cdot T,$$

für $p = 10333 \text{ kg/m}^2,$

$$v = 22,4 \text{ m}^3 \text{ (Molvolumen),}$$

$$G = m \text{ (Gewicht von 1 „Mol“),}$$

$$T = 273^\circ \text{ C (K),}$$

so wird

$$10333 \cdot 22,4 = m \cdot R \cdot 273,$$

$$m \cdot R = \frac{10333 \cdot 22,4}{273} = 848,5,$$

$$R = \frac{10333 \cdot 22,4}{273 \cdot m}$$

$$R = \frac{848,5}{m}.$$

Hieraus kann die Gaskonstante eines beliebigen Gases vom Molekulargewicht m oder eines Gasgemisches von scheinbarem Molekulargewicht m berechnet werden,

z. B. Leuchtgas:

$$\gamma = 0,6 \text{ kg/m}^3; m \cdot v = 22,4; m \cdot \frac{1}{\gamma} = 22,4$$

$$m = \gamma \cdot 22,4 = 0,6 \cdot 22,4 = 13,44,$$

$$R = \frac{848,5}{13,44} = 63,2 \frac{\text{m}}{^\circ \text{C}}.$$

5. Gasmischungen.

Zwei Erfahrungssätze.

1. Innerhalb einer Gasmischung befolgt das einzelne Gas seine Zustandsgleichung so, als ob die anderen Bestandteile nicht vorhanden wären.
2. Der Druck p der Mischung ist gleich der Summe der Teildrücke der einzelnen Bestandteile (Daltonsches Gesetz).

Unter den Teildrücken $p_1; p_2; p_3 \dots$ versteht man diejenigen Drücke, die sich einstellen würden, wenn jeweils alle Bestandteile bis auf einen bei gleichbleibendem Volumen und gleichbleibender Temperatur entfernt werden könnten. In der Mischung haben alle Bestandteile das gleiche Gesamtvolumen und die gleiche Temperatur.

Sind in G kg Gas für die einzelnen Bestandteile $G_1 + G_2 + G_3 \dots$ als Gewichte, so ist

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \dots$$

Für die Einzelgase mit den Teildrücken $p_1; p_2; p_3 \dots$ und Gaskonstanten $R_1; R_2; R_3 \dots$ gilt dann

$$p_1 \cdot V = G_1 \cdot R_1 \cdot T,$$

$$p_2 \cdot V = G_2 \cdot R_2 \cdot T,$$

$$p_3 \cdot V = G_3 \cdot R_3 \cdot T.$$

Diese drei Gleichungen addiert ergibt:

$$V (p_1 + p_2 + p_3) = T (G_1 \cdot R_1 + G_2 \cdot R_2 + G_3 \cdot R_3).$$

Setzen wir für $p_1 + p_2 + p_3 = p$ und $V \cdot p = (G_1 \cdot R_1 + G_2 \cdot R_2 + G_3 \cdot R_3) T$, so ergibt sich

$$V \cdot p = G \cdot R \cdot T.$$

Bezeichnet man R_m die Gaskonstante einer Gasmischung, so ist

$$V \cdot p = G \cdot R_m \cdot T \quad (21)$$

Danach kann man setzen

$$G \cdot R_m \cdot T = (G_1 \cdot R_1 + G_2 \cdot R_2 + G_3 \cdot R_3 + \dots) T$$

oder

$$R_m = \frac{G_1}{G} \cdot R_1 + \frac{G_2}{G} \cdot R_2 + \frac{G_3}{G} \cdot R_3 + \dots$$

Aus der Zustandsgleichung folgt auch:

$$p_1 = \frac{G_1 \cdot R_1 \cdot T}{V}; \quad p_2 = \frac{G_2 \cdot R_2 \cdot T}{V};$$

$$p_3 = \frac{G_3 \cdot R_3 \cdot T}{V}.$$

Der Gesamtdruck p ist also:

$$p = \frac{G \cdot R_m \cdot T}{V} \quad (22)$$

Bildet man die Verhältnisse der Teildrücke zum Gesamtdruck, so ergibt

$$\frac{p_1}{p} = \frac{\frac{G_1 \cdot R_1 \cdot T}{V}}{\frac{G \cdot R_m \cdot T}{V}} = \frac{G_1 \cdot R_1}{G \cdot R_m}$$

$$p_1 = \frac{G_1}{G} \cdot \frac{R_1}{R_m} \cdot p; \quad p_2 = \frac{G_2}{G} \cdot \frac{R_2}{R_m} \cdot p; \quad p_3 = \frac{G_3}{G} \cdot \frac{R_3}{R_m} \cdot p \quad (23)$$

Beispiel:

Luft besteht aus 23,6 Gewichtsteilen Sauerstoff (O_2) und 76,4 Gewichtsteilen Stickstoff (N_2) d. h. 1 kg Luft enthält

$$G_1 = 0,236 \text{ O}_2 \text{ und } G_2 = 0,764,$$

$$R_1 = 26,5; \quad R_2 = 30,26,$$

$$R_m = \frac{0,236}{1,0} \cdot 26,5 + \frac{0,764}{1} \cdot 30,26,$$

$$R_m = 6,16 + 23,1 = 29,26.$$

Luftdruck = 760 mm Hg (Quecksilber).

$$p_1 = \frac{0,236}{1} \cdot \frac{26,5}{29,26} \cdot p = 0,214 \cdot p; \quad = 0,214 \cdot 760 = 162,8 \text{ mm Hg,}$$

$$p_2 = \frac{0,764}{1} \cdot \frac{30,26}{29,26} \cdot p = 0,768 \cdot p; \quad = 0,768 \cdot 760 = 597,2 \text{ mm Hg.}$$

6. Feuchte Luft.

Feuchte Luft ist eine Mischung von Luft und Wasserdampf. Luft enthält stets Wasserdampf, der im klaren Zustand der Luft ungesättigt (überhitzt) ist. Im Grenzzustand der Sättigung enthält ein m³ Luft dem Gewichte nach eine ganz bestimmte Menge Wasserdampf. Die Wasserdampfmenge wird absolute Luftfeuchtigkeit genannt und mit x bezeichnet. Die Temperatur des Dampfes ist gleich der Lufttemperatur. Das Gewicht des Dampfes ist aus Dampftabellen zu entnehmen (siehe Tabellen). In diesem Zustand besitzt der Dampf auch den größten Druck, den er bei der vorliegenden Temperatur überhaupt annehmen kann. Ist der Dampf naß, so ist sein Gewicht in einem m³ größer. Die Luft ist übersättigt, die Feuchtigkeit wird sichtbar in Form von Nebel. Enthält die Luft weniger Dampf (Feuchtigkeit), so heißt sie ungesättigt.

Das Gewicht des in einem m³ feuchter Luft tatsächlich enthaltenen Wasserdampfes heißt absolute Feuchtigkeit. Unter relativer Feuchtigkeit versteht man das Verhältnis der tatsächlich in der Luft enthaltenen Wasserdampfmenge zu der höchstmöglichen (im Sättigungszustand).

Taupunkt ist die Temperatur, bei der die Luft jeweils ihren Sättigungszustand erreicht. Die relative Feuchtigkeit ist auch gleich dem Verhältnis des vorhandenen Dampfdruckes p_D zu dem der betreffenden Temperatur zugeordneten Sättigungszustand p_s .

$$1. \varphi = \frac{\text{tatsächlicher Wasserdampfgehalt}}{\text{höchstmöglicher Wasserdampfgehalt}},$$

$$2. \varphi = \frac{p_D}{p_s},$$

φ = relative Feuchtigkeit.

7. Änderung der relativen Feuchtigkeit der Luft bei Änderung der Lufttemperatur.

Es bezeichnen:

V_{t_1} = Luftvolumen bei der Temperatur t_1 °C,

φ_1 = relative Feuchtigkeit bei der Temperatur t_1 °C,

g_{s_1} = Wasserdampfgehalt bei voller Sättigung bei t_1 °C,
 V_{t_1} ; φ_2 ; g_{s_1} gelten für die Temperatur t_2 °C,
 1 m³ Luft von t_1 °C enthält

$$\frac{\varphi_1 \cdot g_{s_1}}{100} \text{ Gramm Wasser.}$$

V_{t_1} m³ enthalten

$$V_{t_1} \cdot \frac{\varphi_1 \cdot g_{s_1}}{100} \text{ Gramm Wasser,}$$

V_{t_2} m³ enthalten

$$V_{t_2} \cdot \frac{\varphi_2 \cdot g_{s_1}}{100} \text{ Gramm Wasser.}$$

Wassergewicht in V_{t_1} m³ Luft = Wassergehalt in V_{t_2} m³ Luft nach Gay-Lussac ist:

$$\frac{V_{t_2}}{V_{t_1}} = \frac{T_2}{T_1}; \quad V_{t_2} = V_{t_1} \cdot \frac{T_2}{T_1}.$$

Damit kann man auch schreiben

V_{t_2} enthalten:

$$V_{t_1} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{\varphi_2 \cdot g_{s_1}}{100} \text{ Gramm Wasser.}$$

Demnach ist:

$$V_{t_1} \cdot \frac{\varphi_1 \cdot g_{s_1}}{100} \cdot V_{t_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{\varphi_2 \cdot g_{s_1}}{100}$$

$$\varphi_1 \cdot g_{s_1} \cdot T_1 = \varphi_2 \cdot g_{s_1} \cdot T_2$$

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 \cdot g_{s_1} \cdot T_1}{T_2 \cdot g_{s_1}} \quad (24)$$

Beispiel:

Außenluft: $t_1 = +3$ °C,

Erwärmte Luft $t_2 = +20$ °C,

$$\varphi_1 = 75 \text{ ‰}$$

$$g_{s_1} = 6 \text{ gr/m}^3$$

$$g_{s_2} = 17,3 \text{ g/m}^3$$

} siehe Tabelle im Anhang

$$\varphi_2 = \frac{75 \cdot 6 \cdot 276}{17 \cdot 3 \cdot 293} = 24,5 \text{ ‰}$$

Die Luft wird also bei der Erwärmung relativ sehr trocken.

Soll die Luft nach der Erwärmung einen bestimmten relativen Feuchtigkeitsgehalt besitzen, so muß ihr Wasser (in fein zerstäubtem Zustand) zugeführt werden.

Gewünschter Wassergehalt der Raumluft minus Wassergehalt der Außenluft:

A = die zugeführte Wassermenge in Gramm,

$$A = V_t \cdot \frac{\varphi_2 \cdot g_{s_2}}{100} - V_t \cdot \frac{\varphi_1 \cdot g_{s_1}}{100},$$

$$\frac{V_t}{V_t} = \frac{T_1}{T_2}; \quad V_t = V_t \cdot \frac{T_1}{T_2},$$

$$A = V_t \cdot \frac{\varphi_2 \cdot g_{s_2}}{100} - V_t \cdot \frac{\varphi_1 \cdot g_{s_1}}{100} \cdot \frac{T_1}{T_2},$$

$$A = \frac{V_t}{100} \left(\varphi_2 \cdot g_{s_2} - \varphi_1 \cdot g_{s_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \right) \text{ Gramm Wasser.} \quad (25)$$

Beispiel:

3000 m³/h Luft gemessen bei $t_2 = + 20^\circ \text{C}$ sollen eine relative Feuchtigkeit $\varphi_2 = 45\%$ haben. Die Außenluft hat $\varphi_1 = 80\%$; $t_1 = - 20^\circ \text{C}$. Welches Wassergewicht ist zuzusetzen?

$$g_{s_2} = 17,3 \text{ gr/m}^3; \quad g_{s_1} = 1,1 \text{ gr/m}^3,$$

$$A = \frac{3000}{100} \left(45 \cdot 17,3 - 80 \cdot 1,1 \cdot \frac{253}{293} \right)$$

$$A = 21120 \text{ gr/h Wasser.}$$

Beispiel:

5000 m³/h Luft gemessen bei $t_2 = + 25^\circ \text{C}$ soll $\varphi_2 = 70\%$ besitzen; wenn $t_1 = + 8^\circ \text{C}$ und $\varphi_1 = 60\%$ gesättigt ist.

Aus: $\varphi_1 \cdot g_{s_1} \cdot T_1 = \varphi_2 \cdot g_{s_2} \cdot T_2$ folgt

$$\begin{array}{l|l} g_{s_1} = \frac{\varphi_2 \cdot g_{s_2} \cdot T_2}{1 \cdot T_1} & T_2 = 25 + 273 = 298 \\ & T_1 = 8 + 273 = 281 \\ g_{s_1} = \frac{70 \cdot 23,1 \cdot 298}{60 \cdot 281} & \varphi_1 = 60\% \\ & \varphi_2 = 70\% \\ & g_{s_2} = 23,1 \\ & g_{s_1} = ? \end{array}$$

$$A = \frac{5000}{100} \left(70 \cdot 23,1 - 60 \cdot 28,5 \cdot \frac{281}{298} \right)$$

$$A = 57 \text{ kg/h Wasser.}$$

8. Erwärmung trockener Luft.

Spezifische Wärme der Gase.

Denkt man sich ein Gasvolumen in einem mit einem beweglichen Kolben abgeschlossenen Zylinder, und führt man diesem Gasvolumen Wärme zu, so wird diese zugeführte Wärme nicht nur zur Temperaturerhöhung, sondern auch zur Volumenvergrößerung verbraucht. Der Kolben wird hierbei verschoben; es wird mechanische Arbeit verrichtet. Denkt man sich den Kolben fest, also unbeweglich, so wird keine Arbeit geleistet. Die zugeführte Wärme dient lediglich nur zur Temperaturerhöhung. Danach muß die spez. Wärme bei gleichbleibendem Druck c_p größer sein als die bei gleichbleibendem Volumen c_v .

Für Luft ist $c_p > c_v$
 $c_v = 0,17 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}.$

Die Ausdehnungsarbeit bei der Erwärmung um 1°C ist 29,3 mkg (siehe Gaskonstante)

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ mkg}; \quad 1 \text{ mkg} = \frac{1}{427} \text{ kcal}.$$

Damit ist der Wärmehalt der Ausdehnungsarbeit

$$= 29,3 \cdot \frac{1}{427} = 0,0686 \text{ kcal}.$$

Damit wird $c_p = 0,17 + 0,0686 = 0,2386 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$

$$c_p \text{ für Luft} = 0,24 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}.$$

Sollen G Kilogramm Luft von t_1 auf t_2 erwärmt werden, so ist hierzu die Wärmemenge:

$$Q = G \cdot c_p (t_2 - t_1) \text{ kcal} \tag{26}$$

erforderlich.

Bei Lüftungsanlagen wird im allgemeinen mit c_p gerechnet. Für die Berechnung der Wärmemenge aus dem gegebenen Luftvolumen ist folgende Betrachtung anzustellen:

Dem Luftgewicht G kg sollen V_t m³ Luft, gemessen bei einer Temperatur t_1 , entsprechen. Diese sind aus V_0 m³ gemessen bei einer Temperatur „Null“ t_0 entstanden.

$$V_t = V_0 (1 + \alpha \cdot t_1)$$

$$V_0 = \frac{V_t}{1 + \alpha \cdot t_1}.$$

Mit dem Raumbgewicht γ_0 der Luft bei $t_0 = 0^\circ \text{C}$ erhält man das Gewicht G zu:

$$G = V_0 \cdot \gamma_0 = \frac{V_0}{1 + \alpha \cdot t_1} \cdot 1,293.$$

Damit wird:

$$Q = \frac{V_0}{1 + \alpha \cdot t_1} \cdot 1,293 \cdot 0,238 (t_2 - t_1),$$

$$Q = 0,31 \cdot \frac{V_0}{1 + \alpha \cdot t_1} (t_2 - t_1) \quad (27)$$

$0,238 \cdot 1,293 = 0,31$; man bezeichnet diesen Wert auch als spezifische Wärme der Luft, bezogen auf einen Kubikmeter.

9. Wärmemenge zur Wasserverdunstung.

Das Wasser zur Befeuchtung der Luft wird, mittels Düsen fein zerstäubt, der Luft zugesetzt. Zum Verdampfer muß, je nach der Wassertemperatur, der notwendige Anteil der Flüssigkeitswärme q und der Verdampfungswärme r zugeführt werden. Die zu befeuchtende Luft muß die Wärmemenge aus dem Heizapparat mitbringen. Sie hat dann nach der Befeuchtung erst die gewünschte Temperatur.

Bedeutet A die zuzuführende Wassermenge, so ist die erforderliche Wärmemenge Q_w

$$\begin{aligned} Q_w &= A \cdot q + A \cdot r \\ Q_w &= A (q + r) \text{ kcal/h} \end{aligned} \quad (28)$$

Beispiel:

Werden z. B. 57 kg Wasser von $+ 10^\circ \text{C}$ stündlich 5000 m³/h Luft zugesetzt, so sind hierzu folgende Wärmemengen erforderlich:

Flüssigkeitswärme = $57 (25 - 10) \cdot 1 = 855 \text{ kcal/h}$,

25°C Raumtemperatur.

Verdampfungswärme = $57 \cdot 585 = 33400 \text{ kcal/h}$,

$$Q_w = 855 + 33400 = 34255 \text{ kcal/h}.$$

Zur Lufterwärmung

$$Q_L = 0,31 \cdot \frac{5000}{1,0916} (25 - 8),$$

$$Q_L = 24100 \text{ kcal/h},$$

8°C ist die Anfangstemperatur.

Die Wärmeleistung des Heizapparates Q_G ergibt sich also zu:
Wärmemenge zu Wasserverdampfung + Wärmemenge zur Luft-
erwärmung.

$$Q_G = Q_w + Q_L.$$

Also in vorliegendem Fall:

$$Q_G = 34255 + 24100 = 58355 \text{ kcal/h.}$$

Bei Klimaanlage ist jedoch die Lufterwärmung in zwei Vorgänge unterteilt:

1. Vorwärmung (Vorerhitzer).

Hier wird die Luft von der Außentemperatur t_a auf die Taupunkttemperatur t_r gebracht. Nach der Befeuchtung ist die Luft gesättigt.

2. Nachwärmung (Nacherhitzer).

Im Nacherhitzer wird der gesättigten Luft nun die erforderliche Wärmemenge zur Wasserverdampfung und zur Lufterwärmung zugesetzt.

10. Erwärmung feuchter Luft.

Die erforderliche Wärmemenge zur Erwärmung feuchter Luft kann, wie unter „Wärmemenge zur Wasserverdampfung“ gezeigt, aus den Einzelresultaten, Flüssigkeitswärme, Verdampfungswärme und Wärmemenge für die Lufterwärmung oder nach folgenden Betrachtungen ermittelt werden.

Feuchte Luft besteht aus Luft und Wasserdampf. Für 1 kg trockene Luft ergibt sich der Wärmeinhalt nach der Gleichung

$$i_L = 0,24 \cdot t \tag{29}$$

und für 1 kg Wasserdampf nach der Gleichung

$$i_D = 595 + 0,46 \cdot t, \tag{30}$$

0,46 ist die spezifische Wärme des Wasserdampfes,

595 ist die Verdampfungswärme des Wassers bei 0° C.

Besteht nun die feuchte Luft aus 1 kg trockener Luft und x kg Wasserdampf, so errechnet sich der Wärmeinhalt zu:

$$i = 0,24 \cdot t + 0,46 \cdot x \cdot t + 595 \cdot x$$

$$i = 0,24 \cdot t + x(0,46 \cdot t + 595) \tag{31}$$

Für die Werte i siehe Zahlentafel III.

11. Beschreibung des t - x -Diagrammes.

Das $t - x$ bzw. $J - x$ -Diagramm ist sehr verbreitet und für praktische Rechnungen genügend genau. Genaues Ablesen erhöht die Genauigkeit des Rechnungsergebnisses.

Das innere Behaglichkeitsfeld liegt in den Grenzen von $+ 21^{\circ} \text{C}$ bis $+ 25^{\circ} \text{C}$ und von 40% bis 60% relativer Feuchtigkeit.

Das äußere Behaglichkeitsfeld liegt zwischen $+ 20^{\circ} \text{C}$ und $+ 26^{\circ} \text{C}$ und ebenfalls zwischen 40% und 60% relativer Feuchtigkeit.

a) Bestimmung des Wassergehaltes der Luft.

Luft von 18°C und 50% relativer Feuchtigkeit enthält $6,5 \text{ g}$ Wasser/kg Trockenluft, oder $7,8 \text{ g}$ Wasser/ m^3 Luft. Vom Schnittpunkt der Senkrechten über 18°C mit der Feuchtigkeit 50% geht man auf die Linie gleichen Wassergehalts nach links bis zum Maßstab $x \text{ g/kg}$, wo der Wassergehalt der Luft gleich $6,5 \text{ g/kg}$ Trockenluft abgelesen werden kann.

Soll der Wassergehalt je m^3 der feuchten Luft für $\varphi\%$ relativer Feuchtigkeit ermittelt werden, so ist die Kurve $x \text{ g/m}^3$ gesättigte Luft zu benutzen. Auf dieser kann aber nur die Sättigungswassermenge abgelesen werden. Die Ablesung muß damit mit φ multipliziert werden. Man geht von $+ 18^{\circ} \text{C}$ senkrecht nach oben bis zur g/m^3 -Kurve, liest am dazugehörigen Maßstab links $15,6 \text{ g/m}^3$ ab und erhält für $\varphi = 50\%$, dann

$$- 0,5 \cdot 15,6 = 7,8 \text{ g/m}^3 \text{ feuchter Luft.}$$

b) Bestimmung des Wärmeinhaltes der Luft.

Luft von 18°C und 50% relativer Feuchtigkeit enthält $8,2 \text{ kcal/kg}$.

Vom Schnittpunkt der Senkrechten über 18°C mit der Feuchtigkeitskurve 50% geht man parallel der schrägen Linien nach links bis zur Sättigungskurve entlang, von hier senkrecht hinauf zur Kurve $i \text{ kcal/kg}$ und vom Schnittpunkt waagrecht nach links zum Maßstab $i \text{ kcal/kg}$. Der Wärmeinhalt für obigen Luftzustand kann zu $8,2 \text{ kcal/kg}$ feuchter Luft abgelesen werden.

c) Kühlung und Nachwärmung der Luft (Verdunstungskühlung).

Erreicht z. B. die Raumluft einen Zustand von $+ 26^{\circ} \text{C}$ und 80% relativer Feuchtigkeit, werden sich die Rauminsassen nicht besonders behaglich fühlen, da infolge der hohen relativen Feuchtigkeit der menschliche Wärmehaushalt gehemmt und eine gewisse Übersät-

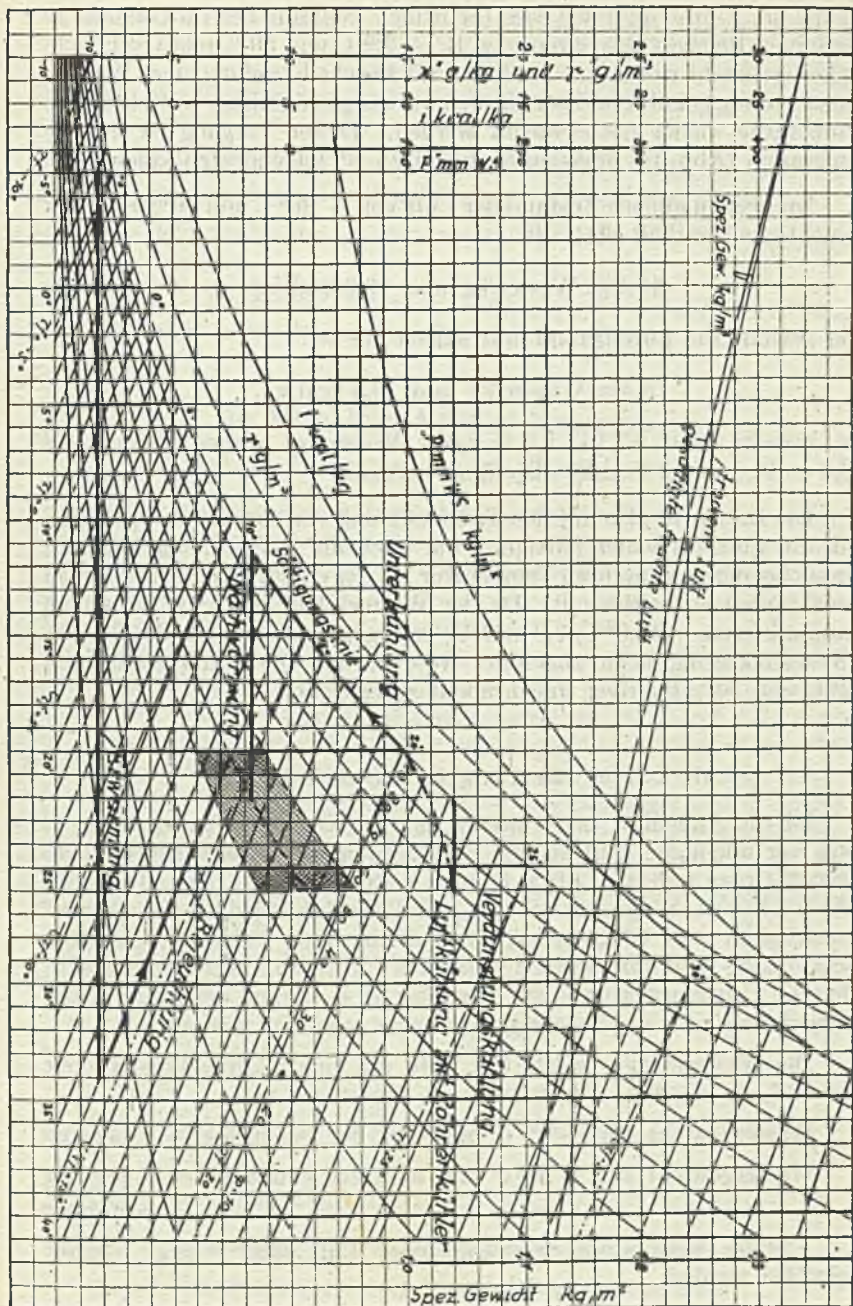


Abb. 16. Das t - x -Diagramm.

tigung der Luft empfunden wird (Schwüle). Soll nun der Luftzustand in die innere Behaglichkeitsgrenze, z. B. + 22° C und 50% relative Feuchtigkeit gebracht werden, so muß die Luft zwecks Erzielung einer Wasserausscheidung gekühlt und zur Erreichung der gewünschten Lufteinströmtemperatur wieder nacherwärmt werden. Dieser Vorgang ist im *t-x*-Diagramm (Abb. 16) angedeutet und dazu ist folgendes zu sagen:

Im ursprünglichen Zustand der Luft von + 26° C und 80% relativer Feuchtigkeit enthält die Luft:

17,1 gr Wasser/kg und 16,6 kcal/kg.

Der gewünschte Luftzustand läßt jedoch nur zu:

8,3 gr Wasser/kg und 10,3 kcal/kg.

Es müssen also $17,1 - 8,3 = 8,8$ gr Wasser/kg ausgeschieden und $16,6 - 10,3 = 6,3$ kcal/kg abgeführt werden.

Die Luft wird also auf den Taupunkt und von hier so weit gekühlt, daß die Luft bei voller Sättigung nur noch die Wassermenge enthält, die sie bei der gewünschten Temperatur bei der entsprechenden relativen Feuchtigkeit enthalten soll. Da der Wärmeinhalt der Luft bei einem Taupunkt von + 11,6° C, 7,8 kcal/kg beträgt, muß der Luft also $10,3 - 7,8 = 2,5$ kcal/kg noch zugeführt werden, um den Luftzustand von 22° C und 50% relativer Feuchtigkeit zu erreichen

d) Lufterwärmung und Befeuchtung.

Ist die Außenluft im Winter z. B. — 5° C und 80% gesättigt, so muß vor allem die Luft auf die Einströmtemperatur erwärmt werden. Erwärmt man nun die Luft z. B. auf + 20° C, so wird die Luft relativ sehr trocken (lt. Diagramm ca. 13%). Soll die Zuluft jedoch eine relative Feuchtigkeit von 60% haben, so muß die Luft befeuchtet werden. Zweckmäßig wird nun die Luft so hoch erwärmt, daß nach der Befeuchtung die Lufttemperatur + 20° C beträgt, d. h. es muß der Luft vor der Befeuchtung noch die Feuchtigkeitswärme zugeführt werden.

Die Wassermenge, welche die Luft, um eine relative Feuchtigkeit von 60% zu erhalten, aufnehmen muß, ergibt sich zu:

Wassergewicht bei — 5° C und 80% rel. Feuchtigk. = 2,14 gr/kg

Wassergewicht bei + 20° C und 60% rel. Feuchtigk. = 8,80 gr/kg

6,66 gr/kg

d. h., jedem Kilogramm eingeschlossener Luft muß 6,66 gr Wasser zugeführt werden.

c) Zusammenfassung und Gebrauchsanweisung des t - x -Diagramms.

Vorgänge gleichbleibender Lufttemperatur verlaufen auf den senkrechten Geraden;

Vorgänge gleichbleibender absoluter Feuchtigkeit verlaufen auf den waagerechten Geraden (Erhitzen und indirekt Kühlen);

Vorgänge gleichbleibender Wärmehalte verlaufen auf den schrägen Geraden;

Vorgänge gleichbleibender relativer Feuchtigkeit verlaufen auf den (nach rechts steigenden) Feuchtekurven.

12. Die Heiz- bzw. Kühllast-Berechnungen.

a) Heizlastberechnung im Winterbetrieb.

Die Heizlastberechnung, kurz Wärmeverlustrechnung genannt, für Klimaanlage weicht von den üblichen Grundlagen der Heizungs- und Lüftungsanlagen nur insofern ab, als sich zu dem üblichen Wärmeverlust noch diejenige Wärmemenge gesellt, die zur Befeuchtung und Erwärmung der Luftmengen erforderlich ist. Der Wärmeverlust ist bedingt durch die baulichen Eigenschaften, wie z. B. der Wände (Außenwände), Türen, Fenster, Dächer usw. und der durch Undichtigkeiten einfallenden Außenluftmenge. Die Wärmemengen, die durch örtlich in den Räumen aufgestellte Vorrichtungen abgegeben werden, wie z. B. Maschinen, Elektromotoren, Glühöfen, starke Beleuchtungen usw., müssen in den Wärmeverlustberechnungen berücksichtigt und in Abzug gebracht werden. Weit größere Bedeutung hat die Wärmeabgabe der örtlich in den Räumen aufgestellten Vorrichtungen bei der Berechnung der Kühllast (Sommerbetrieb). Hierauf wird im Unterabschnitt 2 „Kühllastberechnung“ näher eingegangen.

Die Wärmeverlustberechnung erfolgt nach der bekannten Beziehung von Péclet

$$Q = F \cdot k (t_2 - t_1) \text{ kcal/h.} \quad (32)$$

Hierin bedeuten:

Q = der stündliche Wärmeverlust in kcal/h

F = Flächenmaß in m^2 ,

k = Wärmedurchgangszahl der Wand in $\text{kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/h}$,

t_2 = Temperatur des Heizmediums (mittlere Temp.),

t_1 = Temperatur des wärmeaufnehmenden Mediums.

Die Berechnung der Wärmedurchgangszahlen erfolgt unter Anwendung folgender Beziehung:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_a} + \frac{1}{a_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}} \quad (33)$$

Hierin bedeuten:

- a_a = Wärmeübergangszahl von Außenluft an Außenwand in kcal/m² °C/h,
- a_i = Wärmeübergangszahl von Innenwand an Innenluft in kcal/m² °C/h,
- $d_1; d_2$ = Schichtdicke der einzelnen Baustoffe, aus der die Wand besteht, in m,
- $\lambda_1; \lambda_2$ = die zu den einzelnen Baustoffen gehörenden Wärmeleit-zahlen in kcal/m °C/h,
- a_{in} = beträgt bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit von 2 m/sec 20 kcal/m² °C/h,
- a_i = in geschlossenen Räumen bei einer natürlichen Luftbe-wegung 7 kcal/m² °C/h.

Hierzu sei auf die „Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden und für die Berechnung der Kessel- und Heizkörpergrößen von Heizungsanlagen“, herausgegeben vom V. D. H.-I., verwiesen, worin unter anderem die oben erforderlichen Werte entnommen werden können.

b) Kühllastberechnung.

Die Kühllastberechnung ist die Umkehrung der Wärmeverlust-berechnung. Es wird also diejenige Wärmemenge ermittelt, welche dem Raum entnommen werden muß, um eine gewünschte Raumtemperatur zu erhalten.

Die Gesamtkühllast setzt sich aus folgenden Wärmemengen zu-sammen, die dem Raum entnommen werden müssen:

- a) die durch die Wände, Decke und Fußboden eindringende Wärme-menge (Umkehrung der Wärmeverlustberechnung),
- b) die von den anwesenden Menschen abgegebene Wärme und Feuchtigkeit,
- c) die Sonnenstrahlungswärme,
- d) die von Maschinen, Beleuchtung usw. abgegebene Wärmemenge.

Zu a). Die durch die Wände, Decke und Fußboden eindringende Wärme ist, da dies die Umkehrung der Wärmeverlustberechnung ist, nicht schwer zu errechnen und braucht nicht nochmals eingehend be-

sprochen zu werden. Nebenbei sei jedoch darauf hingewiesen, daß eine Vergeßlichkeit und eine ungenaue Ermittlung der Kühllast zu unangenehmen Überraschungen führen können. Die mit sehr geringen Toleranzen für Temperatur und Feuchtigkeit aufgestellten Gewährleistungen und Garantieabgaben verlangen von vornherein eine genaue und bewußte Bearbeitung der zu entwerfenden Klimaanlage.

Zu b): Die von den Menschen abgegebene Wärmemenge ist sehr verschieden. Ein ruhig sitzender Mensch gibt weniger Wärme ab, als ein Mensch, welcher schwere körperliche Arbeit leistet, und somit gibt ein Kind auch weniger Wärme ab als ein erwachsener Mensch.

Die folgenden Angaben können bei der Ermittlung der Wärmemenge der Menschen in Rechnung gestellt werden:

ruhig sitzender Mensch	ca. 80—100 kcal/h,
ruhig stehender Mensch	ca. 100—110 kcal/h,
leichte Arbeit verrichtend	ca. 120—140 kcal/h,
mittlere Arbeit verrichtend	ca. 150—180 kcal/h,
schwere Arbeit verrichtend	ca. 190—250 kcal/h,
schwerste Arbeit verrichtend	ca. 260—400 kcal/h,
ein Kind ruhig	ca. 50— 60 kcal/h,
ein Kind bewegend	ca. 60— 80 kcal/h.

Obige Angaben sind ungefähr, doch praktisch genau, bei einer Lufttemperatur von 20° C und bei natürlicher Luftbewegung der Wärmeabgabe der Menschen entsprechend.

Steigt die Lufttemperatur, dann sinkt die von dem Menschen abgegebene Wärmemenge.

Auch die von den Menschen abgegebene Feuchtigkeit muß der Raumluft entzogen werden. Diese beträgt ca. 40—80 gr/h pro Person je nach der Beschäftigungsart und Raumtemperatur. Praktisch kann jedoch mit einem Wert von 70 gr/h je Insasse gerechnet werden, da in den zu klimatisierenden Räumen meist keine strenge körperliche Arbeit geleistet wird. (Lichtspielhaus, Büro- und Verwaltungsgebäude usw.)

Zu c):

a) Außenwand.

Welche große Bedeutung der Sonnenstrahlung bei der Kühllastberechnung zufällt, geht daraus hervor, daß diese unter Umständen 50—75% der gesamten Kühllast betragen kann. Leider sind jedoch die uns zur Verfügung stehenden Zahlenwerte und Berechnungsgrundlagen noch nicht vollkommen, doch können die folgenden Angaben als praktisch genügend genau angesehen und in Rechnung gestellt werden.

Folgende Zahlentafel gibt diejenigen Wärmemengen an, welche die Sonne am 1. Juli (also im Hochsommer) bei klarem Himmel abgeben kann.

Zahlentafel 6.

Sonnenstrahlung auf Wände in kcal/m ² /h am 1. Juli.									
Zeit	Wände								
	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	
5 h	270	250	85						
6 h	410	440	215						
7 h	410	515	320						
8 h	375	525	415	60					
9 h	205	470	455	180					
10 h	55	350	440	275					
11 h		190	375	340	105				
12 h			260	370	260				
13 h			105	340	375	180			
14 h				275	440	350	55		
15 h				180	455	470	205		
16 h				60	415	525	325		
17 h					320	515	410	45	
18 h					215	440	410	140	
19 h					85	250	270	130	

Sonnenstrahlung auf Dächer in kcal/m ² /h am 1. Juli.									
Zeit	Dächer mit 30° Neigung								Flach-dach
	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	
5 h	170	160	20					100	40
6 h	330	350	235	55			20	195	145
7 h	435	490	390	205	25		70	255	265
8 h	500	600	545	370	175	80	135	310	390
9 h	550	680	675	535	345	215	220	360	520
10 h	565	715	760	675	510	365	320	400	625
11 h	550	700	790	775	660	510	415	435	700
12 h	495	630	760	810	760	630	495	445	725
13 h	415	510	660	775	790	700	550	435	700
14 h	320	365	510	675	760	715	565	400	625
15 h	220	215	345	535	675	680	550	360	520
16 h	135	80	175	370	545	600	500	310	390
17 h	70		25	205	390	490	335	255	265
18 h	20			55	235	350	330	195	145
19 h					20	160	170	100	40

Sonnenstrahlung durch Einfachfenster in kcal/m ² /h am 1. Juli.								
Zeit	Fenster							
	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N
5 h	240	225	75					
6 h	370	395	190					
7 h	370	465	290					
8 h	295	470	370	55				
h h	185	420	410	160				
10 h	50	375	395	245				
11 h		170	340	310	95			
12 h			235	330	235			
13 h			95	310	340	170		
14 h				245	395	315	50	
15 h				160	410	420	185	
16 h				55	370	470	295	
17 h					290	465	370	40
18 h					190	395	370	125
19 h					75	225	240	115

Sonnenstrahlung durch Oberlichte in kcal/m ² /h am 1. Juli.									
Zeit	Oberlichte mit 30° Neigung								
	NO	O	SO	S	SW	W	NW	N	Oberl. waager.
5 h	155	145	20					90	40
6 h	300	310	210	50			20	175	130
7 h	390	440	350	185	20		65	230	240
8 h	450	540	490	330	160	70	120	275	350
9 h	495	615	610	485	310	195	200	320	465
10 h	510	645	680	605	460	325	285	360	560
11 h	495	630	710	695	590	455	375	390	625
12 h	445	565	680	730	680	565	445	400	650
13 h	375	455	590	695	710	630	495	390	625
14 h	285	325	460	605	680	645	510	360	560
15 h	200	195	310	485	610	615	495	320	465
16 h	120	70	160	330	490	540	450	275	350
17 h	65		20	185	350	440	390	230	240
18 h	20			50	210	310	300	175	130
19 h					20	145	155	90	40

Cammerer und Christian¹³⁾ haben Abbildung 17 aufgestellt, in der der Tagesgang der Sonnenstrahlung für verschieden gerichtete Raumumfassungen angegeben ist. In der Praxis läßt sich m. E. jedoch bequemer mit Zahlentafel 6 arbeiten, da hierbei die der Himmelsrichtung und der Zeit entsprechende Sonnenwärme als Zahlenwert direkt entnommen werden kann.

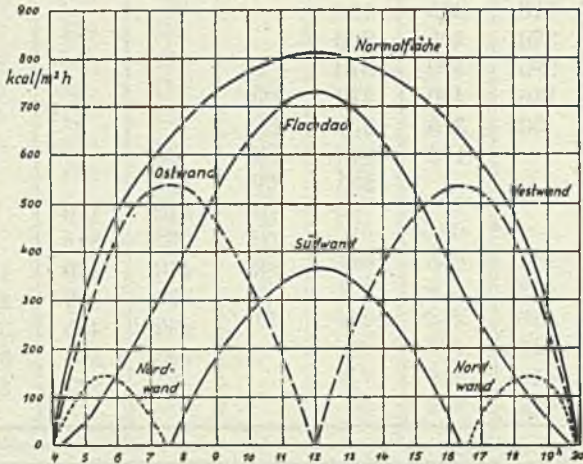


Abb. 17.

Diese angegebenen Wärmemengen können jedoch nicht direkt in Rechnung gestellt werden, da die von der Sonne bestrahlte Wand einen Teil dieser Wärmemenge zurückwirft, d. h. ein Teil dieser Wärme wird an die Außenluft abgegeben, während der andere Teil durch die Wand fließt und die Raumluft erwärmt. Die Wärmemenge, welche die Wand also aufnimmt, hängt von dem Absorptionsverhältnis A ab.

Praktisch können folgende Absorptionsverhältnisse in Rechnung gestellt werden.

- $A = 0,9$ für dunkle Dächer, wie Teerpappendächer,
- $A = 0,8$ für dunkelgraue Wände,
- $A = 0,7$ für graue Wände,
- $A = 0,6$ für hellere Wände,
- $A = 0,5$ für helle Wände.

Eine genaue Abstufung ist jedoch nicht nötig, da dies u. U. nur zur Vortäuschung einer Genauigkeit führen könnte.

Es ist zu empfehlen, für Gebäudewandungen ein Absorptionsverhältnis von $A = 0,7$ zu wählen, auch wenn diese Wände am Anfang

ziemlich hell erscheinen, denn im Laufe der Zeit verschmutzen auch diese Wände und wirken dann auch wie eine graue Wand.

Infolge der Strahlungswärme der Sonne wird nun die Wandaußenfläche eine Temperaturerhöhung aufweisen. Das führt nun einerseits zu einer Wärmeabgabe durch Strömung an die Außenluft, andererseits zu einer Wärmeabgabe durch Leitung und Strömung durch die Wand an die Innenluft (Raumluft).

Beide Wärmeabgaben ergeben im Beharrungszustand die von der Wand aufgenommene Wärmemenge (Strahlungswärme).

Die nun infolge Sonnenstrahlung in den Raum einströmende Wärmemenge ergibt sich unter Berücksichtigung der Wärmedurchgangsgesetze zu²⁾:

$$Q_s = \frac{k'}{a_a} \cdot F \cdot A \cdot J \quad \text{kcal/h,} \quad (34)$$

$$k' = \frac{k \cdot a_a}{a_a - k} \quad \text{kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/h.} \quad (35)$$

Hierin bedeuten:

Q_s = die in den Raum einströmende Wärmemenge in kcal/h,

k' = Wärmeleitzahl in kcal/m² °C/h (von Außenwandfläche zur Raumluft),

k = Wärmedurchgangszahl in kcal/m² °C/h,

a_a = die äußere Wärmedurchgangszahl in kcal/m² °C/h,

F = Wandfläche in m²,

A = Absorptionsverhältnis,

J = Strahlungsenergie der Sonne in kcal/m²/h.

Wie schon vorher erwähnt, muß die infolge Strömung von der Außenluft aufgenommene und die von der Raumluft infolge Leitung und Strömung zuströmende Wärmemenge der von der Wand aufgenommenen Wärmemenge im Beharrungszustand gleich sein.

Die von der Außenwand in die Außenluft strömende Wärmemenge Q_A ergibt sich zu

$$Q_A = a_a (t_x - t_a) \quad \text{kcal/m}^2 \text{ h,} \quad (36)$$

und die durch die Wand in die Raumluft gelangende Wärmemenge Q_J ergibt sich zu

$$Q_J = \frac{k \cdot a_a}{a_a - k} (t_x - t_R) \quad \text{kcal/h.} \quad (37)$$

Aus dieser Überlegung ergibt sich nun die von der Wand aufgenommene Strahlungswärme zu¹⁰⁾:

$$J \cdot A = \alpha_a (t_x - t_a) + \frac{k \cdot \alpha_a}{\alpha_a - k} (t_x - t_R) \quad \text{kcal/m}^2 \text{ h.} \quad (38)$$

Nach t_x aufgelöst ergibt sich:

$$t_x = \frac{J \cdot A + \alpha_a \cdot t_a + \frac{k \cdot \alpha_a}{\alpha_a - k} \cdot t_R}{\alpha_a + \frac{k \cdot \alpha_a}{\alpha_a - k}} \quad \text{in } ^\circ \text{C.} \quad (39)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

α_a = Wärmeübergangszahl von Außenwand an Außenluft in kcal/m² °C/h,

k = die Wärmedurchgangszahl in kcal/m² °C/h,

t_x = Außenwand — Oberflächentemperatur in °C,

t_a = Außenlufttemperatur in °C,

t_R = Innenlufttemperatur (Raumluft) in °C,

$J \cdot A$ = die von der Wand aufgenommene Strahlungswärme in kcal/m² h.

Die Heizungsregeln nach DIN 4701 schreiben für α_a einen Wert von 20 kcal/m² · h °C vor. Da jedoch im Sommer gegenüber dem Winter die Windgeschwindigkeiten geringer sind, kann der α_a -Wert auch etwas geringer gewählt werden, worauf auch Cammerer hingewiesen hat. In dem folgenden Beispiel setzen wir $\alpha_a = 13$ kcal/m² · °C · h.

Beispiel:

Nach Zahlentafel 6 erhält eine Südwand um 12 Uhr eine Sonnenwärme J von 370 kcal/m² · h. Setzen wir das Absorptionsverhältnis zu 0,7, dann ergibt sich die von der Außenwand aufgenommene Wärmemenge zu:

$$J \cdot A = 370 \cdot 0,7 = 260 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h.}$$

Gegeben sind:

$\alpha_a = 13$ kcal/m² · °C · h,

$k = 1,5$ kcal/m² · °C · h,

$t_a = 32$ °C,

$t_R = 26$ °C.

Diese Werte in Gleichung 38 eingesetzt ergibt:

$$260 = 13 (t_x - 32) + \frac{1,5 \cdot 13}{13 - 1,5} (t_x - 26).$$

Hieraus errechnet sich die Wandoberflächentemperatur zu:

$$\begin{aligned} 260 &= 13x - 416 + 1,7 t_x - 44,2, \\ t_x &= 49^{\circ} \text{C}. \end{aligned}$$

Für $a_a = 20 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$ liegen die Wandtemperaturen etwa 11% tiefer.

Die nun durch die Wand der Raumluft zufließende Wärmemenge läßt sich einfachstens nach der Wärmedurchgangsgleichung errechnen:

$$Q_J = 1,7 (49 - 26) = 40 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}.$$

Anmerkung:

Hat z. B. ein Raum mehrere der Sonnenstrahlung ausgesetzte Außenwände, so ist die Sonnenstrahlung nicht für alle Wände zu ermitteln, sondern nur für die Wand, welche der stärksten Sonnenstrahlung ausgesetzt ist. Die anderen Außenwände sind wie üblich nur dem Temperaturgefälle zwischen Außenluft und Raumluft entsprechend zu berechnen.

Nebenbei sei noch gesagt, daß die Wände, je nach der Dicke, eine größere Speicherfähigkeit aufweisen. Dies wirkt sich so aus, daß eine am Spätnachmittag von der Sonne bestrahlte Wand noch lange nach dem Sonnenuntergang dem Raum eine merkbare Wärme abgibt. So müßte z. B. in einem Gasthaus (Restaurant), wenn abends noch mehrere Gäste den Raum einnehmen, da sich dann noch die Wärmeabgabe der Gäste zu der Wärmeabgabe der Wand addiert, noch lange die Luft gekühlt werden.

Das Kühlen eines Raumes erfordert weit größere Vorsicht als das Erwärmen, da die Erwärmung, d. h. die erforderliche Wärmemenge, sozusagen eindeutig festgelegt werden kann, während die Kühllastberechnung mit angenommenem Werte durchgeführt werden muß. So ist z. B. die größte Intensität der Sonnenstrahlung nicht in jedem Ort gleich stark. Abgesehen von der geographischen Lage spielen noch andere Faktoren eine Rolle, so z. B. wird infolge der Rauchgase, Staub und sonstiger Verunreinigungen der Luft die Intensität in einem ausgesprochenen Industrieort geringer sein als in einer industriefrei gelegenen Stadt. Leider liegen zur Zeit diesbezügliche genauere Angaben nicht vor. Das Messen dieser Intensität an verschiedenen Orten ist für die Klimaforschung von großer Bedeutung. Diese Bedeutung wurde im In- und Ausland anerkannt, und es werden nun auch entsprechende Messungen vorgenommen.

b) Fenster.

Ein Einfachfenster läßt 90% der Strahlungsenergie durch, d. h. die Durchlässigkeit ist somit 0,9, und die durch ein Einfachfenster strahlende Wärmemenge Q_s ergibt sich bei senkrechter Bestrahlung zu

$$Q_s = \epsilon \cdot J \quad \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h.} \quad (40)$$

An der verhältnismäßig hohen Durchlässigkeit läßt sich erkennen, daß die Wirkung der Sonnenstrahlung bei Fenstern gegenüber der bei Wänden bedeutend größer ist. Die durch die Fenster einstrahlende Sonnenwärme verwandelt sich im Raum in Wärmestrahlung, die dann, da die Fenster geschlossen sind, nicht mehr hinaus kann, was zu einem Temperaturanstieg der Raumluft führt. Dunkles Glas läßt bedeutend weniger Strahlung durch, aber erwärmt sich infolge der Strahlung stark und absorbiert einen Teil dieser Wärme. Bei der Kühllastberechnung müßte streng genommen diese Wärmeabsorption auch berücksichtigt werden. Auch helles, verunreinigtes Glas (Fensterglas) wird strahlungs- und durchlässiger, je nach der Verschmutzung.

Doppelverglastes Fenster verringert die Durchlässigkeit. Die Durchlässigkeit kann mit ϵ^2 also 0,81 in Rechnung gestellt werden. Somit ergibt sich die durch ein doppelverglastes Fenster wirkende Strahlung bei senkrechter Betrachtung zu:

$$Q_s = \epsilon^2 \cdot J \quad \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h.} \quad (41)$$

Doppel- und Mehrfachfenster verringern die Strahlungswirkung erheblich. Die Durchlässigkeit dieser Fenster beträgt hierbei nur noch 0,6 bis 0,65. Da einerseits die Doppelfenster im Sommer die Kühllast und andererseits im Winter den Wärmeverlust erheblich verringern, empfiehlt es sich, Doppelfenster vorzuziehen. Durch Sonnendächer läßt sich die Wirkung der Strahlung auch noch verringern. Hierbei kann die Strahlungswirkung bis zu 65% verringert werden, so daß sich der Einbau von Sonnendächern oder Jalousien lohnt. Vorhänge usw. im Raum angeordnet, sind wirkungslos.

Da die Sonnenstrahlung bei üblichen Fenstern nicht senkrecht zur Fensterfläche wirken kann, darf nicht die gesamte Fensterfläche in Rechnung gestellt werden. Es ist also der Neigungswinkel \cos zu berücksichtigen. Außerdem ist die Schattenwirkung, da die Fenster meist etwas vertieft in der Außenwand eingebaut sind, auch noch zu berücksichtigen.

Die durch ein Fenster durchgelassene Strahlungswärme nimmt mit dem \cos des Neigungswinkels (von der Fensternormalen) ab.

$$Q_s = J \cdot \epsilon \cdot \cos \alpha \quad \text{kcal/m}^2 \text{ h.} \quad (12)$$

So ist z. B. die Wärmedurchlässigkeit eines Einfachfensters bei einer Intensität von $330 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ und einem Einfallwinkel von 52°

$$Q_s = 330 \cdot 0,9 \cdot 0,616 = 185 \text{ kcal/m}^2 \text{ h.}$$

Dieser Wert von $185 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ entspricht jedoch nicht der Tatsache, da die Schattenwirkung noch unberücksichtigt ist. Erstreckt sich die Schattenwirkung z. B. über $\frac{1}{4}$ der Fensterfläche, so wird die wirkliche Höchststrahlungswärme

$$Q_s = \frac{185}{4} \cdot 3 = \sim 140 \text{ kcal/m}^2 \text{ h.}$$

Für unsere geographische Lage ergeben sich für die durch Fenster einstrahlende Sonnenwärme folgende annähernden Werte:

$$\text{senkrechtcs Fenster} = 100 - 200 \text{ kcal/m}^2 \text{ h,}$$

$$\text{Oberlicht-Fenster} = 200 - 300 \text{ kcal/m}^2 \text{ h.}$$

Abbildung 18 enthält die der Tageszeit entsprechende Sonnenstrahlungswinkel für die Himmelsrichtungen Osten, Süden und Westen, und Abbildung 19 die Strahlungsleistungen in Abhängigkeit vom Sonnenwinkel für waagerechte und senkrechte Ebenen.

Zu d): Die von Maschinen, Lichtquellen und sonstigen Einrichtungen und Wärmequellen abgegebenen Wärmemengen müssen bei der Kühllastberechnung voll und ganz angerechnet werden. Wenn jedoch diese Wärmequellen z. B. erst abends oder auch am frühen Vormittag zur Geltung kommen, also in Betrieb genommen werden, brauchen diese Wärmemengen, vorausgesetzt, daß die Summe dieser Wärmequellen die in Rechnung gestellte Höchstsonnenstrahlungswärme nicht übertrifft, nicht berücksichtigt zu werden. Fällt der Betrieb dieser Einrichtungen mit der Höchstsonnenintensität jedoch zeitlich zusammen, dann müssen diese Wärmemengen, auch wenn sie scheinbar gering sind, mit berücksichtigt werden.

Für die genannten Wärmequellen müssen diese Wärmemengen wie folgt ermittelt werden:

$$1 \text{ PSh} = 632 \text{ kcal,}$$

$$1 \text{ KWh} = 860 \text{ kcal.}$$

Ein Elektromotor mit einer Leistung von 10 PS müßte also mit $10 \cdot 632 = 6320 \text{ kcal/h}$ in Rechnung gestellt werden.

Die von der Beleuchtung abgegebene Wärmemenge kann auch errechnet werden, indem man die Leistung der einzelnen Lampen addiert und dann mit obigem Wert multipliziert. Praktisch kann auch mit folgenden Anhaltswerten gerechnet werden:

Büro-Räume	= 25 — 40 Watt je Lichtquelle
Größere Räume	= 40 — 60 Watt je Lichtquelle
Werkstätten für feinere Arbeit	= 60 — 100 Watt je Lichtquelle
Kaufhäuser	= 60 — 80 Watt je Lichtquelle.

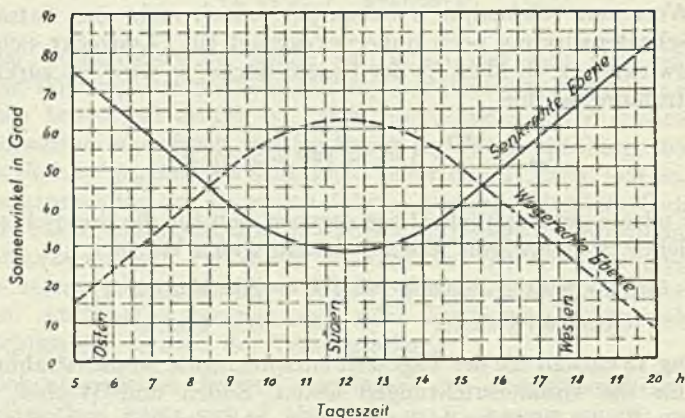


Abb. 18. Auffallwinkel der Sonnenstrahlen.

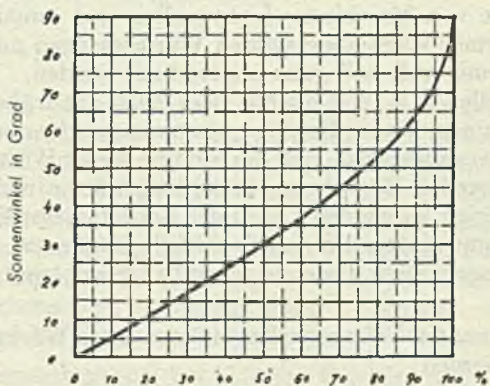


Abb. 19. Strahlungsleistung in Abhängigkeit vom Sonnenwinkel.

Anmerkung:

Aus den Summen dieser einzelnen Kühllasten ergibt sich nun schlußendlich die Gesamtkühllast Q_k . Diese Wärmemenge muß nun durch irgendein Kühlmittel der Luft entzogen werden. Bevor man zu den teuren Kältemaschinen greift, ist es zweckmäßig, als Kühlmittel Wasser vorzusehen und die erforderliche Kühlwassermenge zu be-

rechnen. Vorausgesetzt ist genügend Wasser mit einer Höchsttemperatur im Sommer von ca. 13°C . Nehmen wir die Wassereintrittstemperatur t_E mit 13°C und die Austrittstemperatur t_A mit 18°C an, so ergibt sich die Kühlwassermenge W_k bei einer Gesamtkühlzeit von z. B. 100 000 kcal/m zu:

$$W_k = \frac{100\,000}{18 - 13} = 20\,000 \text{ l.tr/h.}$$

Da jedoch bekanntlich die Sonne nicht den ganzen Tag, und besonders nicht alle Tage strahlt, und die größte Intensität sich nur auf einige Stunden pro Tag erstreckt, ist es unzweckmäßig, die bei voller Berücksichtigung der Gesamtkühllast errechnete Wassermenge in Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu stellen. Tatsächlich werden von der errechneten Wassermenge nur ca. 20—30% gebraucht, also nicht 20 m³/h, sondern 4 bis 6 m³/h.

Allerdings ist die Kühlwasserleitung für eine stündliche Wassermenge zu berechnen, die erforderlich ist, um der Gesamtkühllast Q_k zu genügen. Ein automatisch gesteuertes Kaltwasserventil wird dann die erforderliche Wassermenge dem Bedarf entsprechend abmessen.

Beispielrechnung.

Um sich nun mit diesen Grundlagen vertraut zu machen, ist es zweckmäßig, ein Beispiel mit den erforderlichen Überlegungen durchzurechnen.

Ein Festsaal mit 500 Personen soll klimatisiert werden.

Gegeben sei:	Gewünscht sei:
Winter:	
Außen:	Innen:
$t_a = -15^{\circ}\text{C}$	$t_R = +20^{\circ}\text{C}$
$\varphi = 70\%$ r. F.	$\varphi = 60\%$ r. F.
Sommer:	
$t_a = 32^{\circ}\text{C}$	$t_R = 25^{\circ}\text{C}$
$\varphi = 40\%$ r. F.	$\varphi = 60\%$ r. F.

Angenommen sei weiter noch, daß keine örtlichen Heizflächen zur Deckung der Wärmeverluste im Winter aufgestellt seien, so daß der Wärmeverlust des Raumes auch vom Klimagerät aufgebracht werden muß.

Sommerbetrieb.

Die Gesamtkühllast setzt sich aus folgenden Wärmemengen zusammen:

Wärmetransmission durch Wände u. Fenster	: 50 000 kcal/h,
Die von den Menschen abgegebene Wärmemenge ergibt sich zu 500 : 80 40 000 „
Beleuchtung usw. 10 000 „
Gesamtkühllast	<u>. 100 000 kcal/h.</u>

Setzen wir nun voraus, daß eine einwandfreie Luftverteilung — ohne Belästigung der Insassen — z. B. durch Düsen, Schlitzschieber oder Anemostaten möglich ist, kann die in dem Raum zuführende Luft ca. 6—8° kühler sein als die Raumluft. Mit einem Temperaturunterschied von 7° C (25 — 18) ergibt sich somit die Luftmenge, um die Kühllast aufzunehmen, und zwar nach Gleichung 26

$$Q_k = G \cdot c_p (t_2 - t_1),$$

$$G = \frac{Q_k}{c_p (t_2 - t_1)} = \frac{100\,000}{0,24 (25 - 18)}$$

$$G = 59\,500 \text{ kg/h.}$$

Je Kopf entfallen somit:

$$\frac{59\,500}{500} = 119 \text{ kg/h Luft.}$$

Die Luft enthält im gewünschten Zustand bei + 25° C und 60% rel. Feuchtigkeit, also bei einem Feuchtkugelthermometerstand von 19° C eine Feuchtigkeit von 12,05 gr/kg. Die Besucher stellen die einzige Feuchtigkeitsquelle dar, und es kann bei dem gegebenen Luftzustand mit einer Feuchtigkeitsabgabe von 70 gr/h Wasser je Kopf gerechnet werden. Dies entspricht einer stündlichen Wasserdampfabgabe von

$$500 \cdot 70 = 35\,000 \text{ gr.}$$

Die in den Raum einblasende Luft (Zuluft) darf also nur eine absolute Feuchtigkeit von

$$12,05 - \frac{35\,000}{59\,500} = 11,47 \text{ gr/kg}$$

enthalten.

Der Wärmeinhalt bei einem Außenluftzustand von + 32° C und 40% rel. Feuchtigkeit ist = 15,10 kcal/kg.

Bei einem Trockenkugelthermometerstand von 18° C und einer Feuchtigkeit von 11,47 gr/kg ergibt sich der Wärmeinhalt der Zuluft zu 11,20 kcal/kg.

Somit hat der Kühler stündlich

$$59500 (15,10 - 11,20) = 232000 \text{ kcal}$$

zu leisten.

Im t - x -Diagramm kann dann auch der Wärmeinhalt der Zuluft abgelesen werden. Beim Maßstab x -g/kg sucht man die Zahl 11,47 und geht von hier genau nach rechts bis zum Schnittpunkt der Trockentemperaturlinie 18°C . Von diesem Schnittpunkt aus geht man nach links der schrägen Linie entlang, senkrecht zur Kurve i kcal/kg und von hier zum Maßstab i kcal/kg links an der Seite und lesen dabei $i = 11,20$ kcal/kg ab.

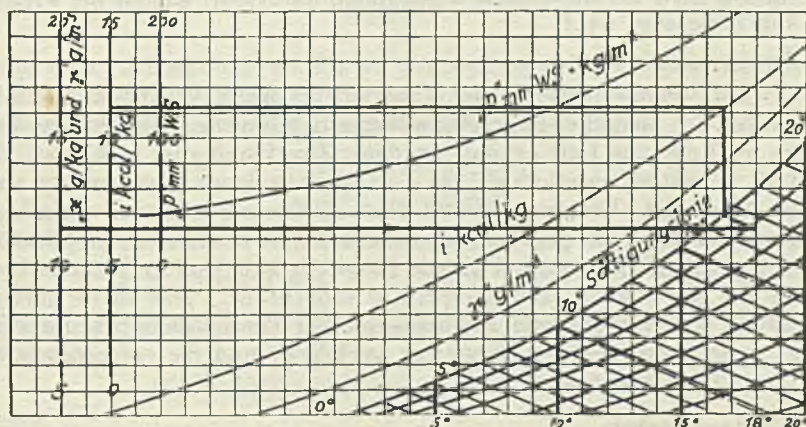


Abb. 20. Ermittlung des Wärmeinhaltes i kcal/kg der Zuluft im t - x -Diagramm.

Wird jedoch statt nur mit Frischluft mit 25% Frischluft und 75% Umluft gearbeitet, dann ergibt sich die Kühlerleistung wie folgt:

$$\begin{aligned} 75\% \text{ Umluft} &= 44500 \text{ kg/h Luft,} \\ 25\% \text{ Frischluft} &= 15000 \text{ kg/h Luft.} \end{aligned}$$

Der Wärmeinhalt von 44500 kg/h Umluft ist

$$(13,3 - 11,20) \cdot 44500 = 92000 \text{ kcal/h.}$$

Der Wärmeinhalt von 15000 kg/h Frischluft ist

$$(15,1 - 11,20) \cdot 15000 = 58000 \text{ kcal/g.}$$

Mithin ergibt sich die vom Kühler aufzubringende Kühllast zu:

$$92000 + 58000 = 150000 \text{ kcal/h.}$$

Die erforderliche Kühlwassermenge W_k ergibt sich nun bei einer Eintrittstemperatur t_E und einer Austrittstemperatur t_A des Kühlwassers zu:

$$W_k = \frac{Q_k}{t_E - t_A} = \frac{150000}{18 - 13} = 30000 \text{ ltr/h.}$$

Wie vorher schon erwähnt, wird sich die Kühlwassermenge viel geringer verhalten, in diesem Falle etwa 9000 m³/h.

Aus wirtschaftlichen Gründen ist es unzweckmässig, mehr Frischluft als Umluft zu verwenden, doch ist zu empfehlen, ca. 25—40 % Frischluft stets zu verwenden. Will man z. B. ein chemisches Laboratorium mit klimatischer Luft versorgen, so wird man jedoch zweckmässig 100 % Frischluft nehmen und die Abluft getrennt auf dem nächsten Wege ins Freie bringen. Es ist darauf zu achten, dass die Abluft nicht in der Nähe der Frischluft-Entnahmestelle ins Freie geblasen wird, da sonst unter Umständen die Abluft wieder als Frischluft angesaugt wird.

Zusammenfassung.

Im Sommer muß also der Raumluft die Kühllastwärmemenge und die von den Menschen abgegebene Wasserdampfmenge entzogen werden. Es muß also die Luft gekühlt werden. Zweckmässig ist es hierbei, die Luft so weit zu unterkühlen, bis die ausscheidende Wassermenge ausgeschieden ist. Um nun eine evtl. Nacherwärmung möglichst einfach zu gestalten, ist es hier gegeben, der Frischluft (die bekanntlich im Sommer den größeren Wärmeinhalt als die Raumluft hat) Umluft zuzumischen, bis die gewünschte Zulufttemperatur erreicht ist. Alle diese Luftzustände lassen sich (unter Zuhilfenahme der Beschreibung des *t-x*-Diagrammes) aus dem *t-x*-Diagramm verfolgen, und die entsprechenden Werte können abgelesen werden.

Winterbetrieb.

Angenommen sei, daß die Wärmeverlustberechnung sich zu 200 000 kcal/h ergeben habe. Da dieser Festsaal jedoch meist abends benutzt wird, ist hiervon die durch die Beleuchtung abgegebene Wärmemenge von 10 000 kcal/h abzuziehen. Die fühlbare Wärmeabgabe der Menschen sei 80 kcal/h je Kopf. Somit ergibt sich die notwendige Wärmemenge zu

$$200000 - (10000 + 500 \cdot 80) = 150000 \text{ kcal/h.}$$

Legen wir die für den Sommerbetrieb errechnete Luftmenge von 59 500 kg/h zugrunde, so ergibt sich die erforderliche Zulufttemperatur zu:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_R),$$

$$t_2 = \frac{Q}{G \cdot c} + t_R,$$

$$t_2 = \frac{150000}{59500 \cdot 0,24} + 20^\circ \text{C,}$$

$$t_2 = 30^\circ \text{C.}$$

Die Feuchtigkeitsabgabe beträgt 70 gr/kg je Kopf und damit ergibt sich die Wasserdampfmenge zu

$$500 \cdot 70 = 35\,000 \text{ gr/kg Luft.}$$

Bei einem gewünschten Raumluftzustand von $+20^\circ\text{C}$ und 60% rel. Feuchtigkeit ergeben sich

$$\begin{aligned} x &= 8,8 \text{ gr/kg,} \\ i &= 10,2 \text{ kcal/kg.} \end{aligned}$$

Die absolute Feuchtigkeit der Zuluft muß somit betragen

$$8,8 - \frac{35\,000}{59\,500} = 8,2 \text{ g/kg.}$$

Aus dem t - x -Diagramm stellen wir nun den Gesamtwärmeinhalt der Zuluft zu 12,20 kcal/kg fest. Bei einer Temperatur von -15°C und einer rel. Feuchtigkeit von 70% der Außenluft ergeben sich:

$$\begin{aligned} i &= -3,7 \text{ kcal/kg,} \\ x &= \sim +1,00 \text{ g/kg.} \end{aligned}$$

Somit ergibt sich die vom Lufterhitzer zu leistende Wärmemenge zu:

$$Q = 59\,500 [12,20 - (-3,7)] = 950\,000 \text{ kcal/h.}$$

Die zur Befeuchtung der Luft erforderliche Wassermenge W_B wird betragen

$$W_B = 59\,500 (8,2 - 1,00) = \sim 420\,000 \text{ gr/h.}$$

oder

$$\frac{420\,000}{59\,500} = 7,08 \text{ gr/kg Luft.}$$

Wird die relative Feuchtigkeit niedriger gewählt, so verringert sich auch entsprechend die erforderliche Wassermenge zur Befeuchtung der Luft.

Betreiben wir nun die Klimaanlage im Winter mit 75% Rückluft und 25% Frischluft, also

$$\begin{aligned} 44\,500 \text{ kg/h Rückluft,} \\ 15\,000 \text{ kg/h Frischluft,} \end{aligned}$$

dann ergibt sich die erforderliche Wärmemenge aus: Erwärmung der Frischluft Q_F

$$Q_F = 15\,000 [12,20 - (-3,7)] = 238\,000 \text{ kcal/h.}$$

Erwärmung der Rückluft Q_R

$$Q_R = 44\,500 (12,20 - 10,2) = 89\,000 \text{ kcal/h.}$$

Die Wärmeersparnis wird hiermit

$$950\,000 - (238\,000 + 89\,000) = 623\,000 \text{ kcal/h,}$$

oder die gesamtzuführende Wärmemenge ist = 327 000 kcal/h. Ebenso läßt sich bei Verwendung von Rückluft die zur Befeuchtung erforderliche Wassermenge verringern. Der Wassergehalt der Frischluft beträgt:

$$15\,000 \cdot (8,2 - 1,00) = 108\,000 \text{ gr/h,}$$

desgleichen für die Rückluft

$$44\,500 (8,2 - 8,8) = \text{negativ } 36\,000 \text{ gr/h.}$$

Die Gesamtwassermenge W_B ergibt sich somit zu

$$W_B = 108\,000 - 36\,000 = 72\,000 \text{ gr/h,}$$

gegenüber 420 000 gr/h bei vollem Frischluftbetrieb.

Aus dieser Rechnung ist ersichtlich, daß durch einfache Überlegungen die Betriebskosten einer Klimaanlage erheblich verringert werden können, ohne daß deren Leistung darunter zu leiden hat.

Die bei Rückluftbetrieb (75% Umluft und 25% Frischluft) erforderliche Wärmemenge zur Erwärmung der feuchten Luft haben wir zu 327 000 kcal/h errechnet.

Da die Befeuchtung der Luft im Klimagerät durch den Taupunkt geregelt wird (Taupunktregelung), muß die Luft zuerst auf die Taupunkttemperatur erwärmt werden. Bei dieser Temperatur muß die Luft gesättigt sein. Die hierzu erforderliche Wärmemenge errechnet sich zu:
Erwärmung der Frischluft

$$Q_F = 15\,000 [8,6 - (-3,7)] = 183\,000 \text{ kcal/h.}$$

Erwärmung der Rückluft

$$Q_R = 44\,500 (10,2 - 8,6) = - 71\,000 \text{ kcal/h.}$$

Die Heizleistung des Vorerhitzers ist somit

$$Q_V = 112\,000 \text{ kcal/h.}$$

Laut $t-x$ -Diagramm ergibt sich der Taupunkt zu 12,5° C und der Wärmeinhalt zu 8,6 kcal/kg.

Die Luft muß nun, um dem Raum die nötige Wärmemenge zu erteilen, von der Taupunkttemperatur von 12,5° C auf Zulufttemperatur von 30° C erwärmt werden.

Die hierzu erforderliche Wärmemenge Q_N errechnet sich zu

$$Q_N = 59\,500 (12,20 - 8,6) = 215\,000 \text{ kcal/h.}$$

Die erforderliche Gesamtwärmemenge ergibt sich also zu:

Vorerhitzer	$Q_V = 112000 \text{ kcal/h,}$
Nacherhitzer	$Q_N = 215000 \text{ kcal/h,}$
Gesamtwärme	$Q_G = 327000 \text{ kcal/h.}$

Erwärmt man das Befeuchtungswasser, d. h. führt man stündlich diesem Wasser die Wärmemenge $Q_V = 112000 \text{ kcal}$ zu, so kann man sich den Vorerhitzer sparen. Dies geschieht auf einfache Weise, indem man in den Wassertank eine Heizanlage einbaut. (Siehe hierzu Abschnitt „Beschreibung der Einzelteile einer Klimaanlage“, Luft-Vorerwärmer.)

Beträgt z. B. die zur Befeuchtung erforderliche Wassermenge wie errechnet $72,00 \text{ kg/h}$, dann ergibt sich bei einem Düsenwirkungsgrad von 2% die zu zerstäubende Wassermenge zu

$$50 \cdot 72,00 = \sim 3600 \text{ kg/h.}$$

Ist die Anfangstemperatur des Wassers $+10^\circ \text{C}$, dann ergibt sich die Temperatur t_E des zu zerstäubenden Wassers

$$t_E = \frac{112000}{3600} + 10 = 41^\circ \text{C.}$$

Soll die Heizschlange aus einem Rohr bestehen, dann ergibt sich die Heizfläche bei einem k -Wert von $780 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$

$$F = \frac{112000}{780 (41 - 10)} = 4,60 \text{ m}^2.$$

Hat nun ein Heizungsingenieur häufiger Klimaanlage zu berechnen, so ist es zweckmäßig, sich ein Berechnungsformular zu entwerfen. Aus diesem Formular muß natürlich die Berechnung einer Klimaanlage genau übersehen werden können, und die Verwendung muß sehr einfach sein. Aus dieser Überlegung ist das Berechnungsformular Abb. 21 aufgestellt worden.

Da jedes Projekt und jede Ausführung in einem gut organisierten Betrieb registriert werden, ist oben links die erforderliche Eintragung zu machen. Bevor nun mit der Berechnung der zu projektierenden Klimaanlage begonnen wird, müssen die Betriebszustände für Sommer und Winter dem Vordruck entsprechend vermerkt werden. Welche Raumluftzustände nun eine Klimaanlage schaffen soll, um den gewünschten Behaglichkeitsforderungen zu entsprechen, ist nicht so einfach zu beantworten. Es empfiehlt sich deshalb, sich nach der Zahlentafel 7 zu richten, welche aus den Lüftungsregeln, Abschnitt „Mindestanforderungen an Klimaanlage“ entnommen ist. Für Sommer und Winter sind die erforderlichen Werte der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit, welche den Gewährleistungen zugrunde gelegt werden, angeführt.

Entwurf Nr. _____ Auftrag Nr. _____	Klimaanlage.	Seite 1	Den. _____ 19____ Jng. _____							
Gebäude: <u>Festsaalgebäude</u>										
Betriebszustände: Sommer: Aussen + 32 °C 40 %r.F. Innen + 25 °C 60 %r.F. Winter: " - 15 °C 70 %r.F. " + 20 °C 60 %r.F.										
Kühlwassertemperatur: 13 °C, Frischluftmenge 25 %/min Heizmedium: Kraft: Drehstrom 220/380 Volt										
Raum Nr	Inhalt m ³	Kühlleistung: <small>kcal/h</small> <small>Zuluft/m³ Raumtemp. 0</small>			Heizleistung			Zuluft		
		kcal/m	Zuluft kg	fach	kcal/h ①	Zuluft kg	fach	Temp ① - R.T. ② O.	% r.F.	Wärme inhalt kcal/kg
1	10000	100000	59500	-6	150000	59500	-6	Winter		
								30	31	120
								Sommer		
								18	85	1200
<p>Wasserabgabe: 500 Personen · 30 gr · 35000 gr/h infiltrierte Luft + _____ °C _____ %r.F. gr Raumluft + _____ °C _____ %r.F. gr</p> <p>Wasserabgabe der infiltrierten Luft: 0,5 · _____ kg gr _____ gr/h 35000 gr/h</p> <p>Wasserzunahme je m³ Luft: $\frac{35000 \text{ gr/h}}{59500 \text{ kg}} = 0,60 \text{ gr/kg}$</p>										
<p>Alter Taupunkt: 16,70 °C Neuer Taupunkt: 16,00 °C</p> <p>i. Aussenluft + 32 °C 40 %r.F. = 15,10 kcal i. Raumluft + 25 °C 60 %r.F. = 13,30 " i. Zuluft + 18 °C 85 %r.F. = 11,20 "</p> <p>0,25 · 3,90 kcal · 59500 kg = 38000 kcal/h 0,75 · 2,10 kcal · 59500 kg = 92000 kcal/h</p> <p align="right">Zuschlag % Kühlleistung 150000 kcal/h</p>										
<p>Leistung der Lufterhitzer: Vorwärmung auf Taupunkt: Aussen - 13 °C 70 %r.F. = 370 kcal/h Taupunkt 12,5 °C 100 %r.F. = 860 kcal/h Raumluft 20 °C 60 %r.F. = 102 kcal/h 0,25 · 59500 kg 12,30 = 183000 kcal/h 0,75 · 59500 kg 1,60 = 71000 "</p> <p align="right">Zuschlag % 112000 kcal/h</p>										
<p>Nachwärmung auf Zulufttemperatur Taupunkt 12,5 °C 100 %r.F. = 86 kcal/h Raumluft 20 °C 60 %r.F. = 102 " Zuluft 30 °C 31 %r.F. = 12,20 "</p> <p>0,25 · 59500 kg 3,60 = _____ kcal/h 0,75 · 59500 kg 3,60 = 215000 "</p> <p align="right">Zuschlag % 215000 kcal/h</p>										
<p>Kaltwasserbedarf: t_a = 18 °C $\frac{150000 \text{ kcal/h}}{5 \cdot 1000} = 30 \text{ m}^3$ t_e = 13 °C t₀ = 5 °C Kaltwasser</p>										
Bemerkung:										

Abb. 21.

Zahlentafel 7.

Den Behaglichkeitsforderungen entsprechende Raumzustände bei verschiedenen Außentemperaturen.

Jahreszeit		Winter	Sommer				
Außentemperatur		—	20°	25°	30°	32°	35°
nach VDI-Lüftungsregeln							
Innentemperatur		20°	21,5°	22°	25°	—	27°
Rel. Luftfeuchte	untere Grenze	35%	—	—	—	—	—
	obere Grenze	70%	70%	70%	60%	—	60%
Gesetzmäßig liegende Werte							
Innentemperatur		—	22°	23°	25°	26°	27°
Relative Luftfeuchte		—	70%	66%	60%	56%	53%

Die Bauleitung ist zu befragen, ob genügend Kühlwasser und mit welcher Höchsttemperatur zur Verfügung gestellt werden kann. Um die Taupunktregelung (also die Befeuchtung) sicherstellen zu können, sollte die Kühlwassertemperatur nicht höher als 12–13° C sein, je nach dem Zustand der gewünschten Raumluft.

Die infiltrierte Luft, d. h. diejenige Luftmenge, welche infolge der Undichtigkeit der Wände, Fenster und Türen in den Raum eintreten kann, haben wir im besprochenen Beispiel nicht berücksichtigt, weil 1. diese Luft nicht genau ermittelt werden kann und 2. weil die Vernachlässigung dieser Luft als Fehler nicht betrachtet werden kann. Ein neues Fenster mag anfänglich ganz gut dicht sein, aber nach einigen Jahren wird infolge Austrocknung des Holzrahmens und infolge Verschleiß diese Dichtigkeit mehr oder weniger nachlassen.

Der im Berechnungsformular vorgesehene Zuschlag in % auf die Kühlleistung und Wärmeleistung des Vor- und Nacherhitzers ist ein Sicherheitszuschlag und kann mit ca. 10% eingesetzt werden. Im berechneten Beispiel haben wir diesen Zuschlag vernachlässigt, und um nicht andere Werte zu erhalten, ist dieser Zuschlag im Berechnungsformular weggelassen worden. Es ist jedoch zu empfehlen, sich in Zukunft mit einem entsprechenden und angenehmen Zuschlag eine Sicherheit zu schaffen.

Die Berechnung der Kühllast, Wärmeleistung für den Luftvorwärmer und für den Luftnacherwärmer ist nichts neues, sondern genau wie im berechneten Beispiel und braucht nicht nochmals beschrieben zu werden.

Unter der Bezeichnung „Alter Taupunkt in °C“ ist diejenige Temperatur zu verstehen, bei der die gewünschte Raumluft im Sommer bei direkter Kühlung gesättigt ist. In unserem Beispiel bei einer Raumtemperatur von +25° C und einer relativen Feuchtigkeit von 60% ergibt sich der Taupunkt zu 16,7° C.

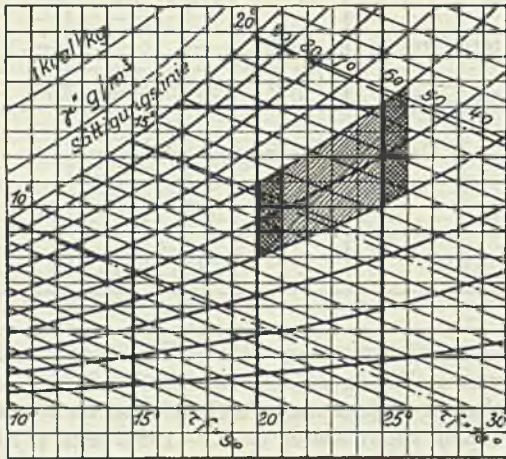


Abb. 22. Taupunktbestimmung.

Der neue Taupunkt errechnet sich nun aus dem Wassergehalt der gewünschten Raumluft in gr/kg minus Wasserabgabe der Menschen (in gr/kg). Somit ergibt sich die Gesamtwassermenge in unserem Beispiel zu $12,05 - 0,6 = 11,45$ gr/kg. Diese Wassermenge enthält Luft im gesättigten Zustand bei einer Taupunkttemperatur von 16° C.

Aus der Folgerung ist zu ersehen, daß bei einer Kühlwassertemperatur im Sommer von 13° C und bei einem Taupunkt von 16° C die Wirkung des Kühlers gesichert ist. Da im Winter die Kühlwassertemperatur ca. 8—10° C sein wird, und der Winter-Taupunkt zu 12,5° C errechnet wurde, ist somit auch hier die Wirkung des Kühlers gesichert. Man wird zwar im Winterbetrieb zwecks Ausscheidung von Flüssigkeit aus der Raumluft, also bei Trocknung der Luft, die Luft nicht unterkühlen, sondern man wird praktischerweise so viel trockene Frischluft zumischen, bis der gewünschte Wassergehalt der Luft erreicht ist.

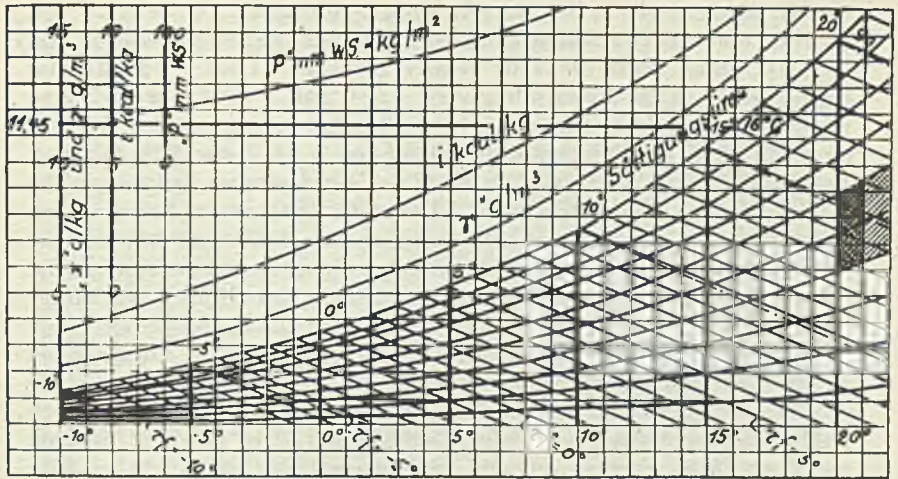


Abb. 23. Taupunktbestimmung im t - x -Diagramm.

c) Die Taupunktregelung.

Anschließend soll die Taupunktregelung genauer besprochen werden, um deren Bedeutung und Wichtigkeit bei der Befeuchtung und Trocknung von Luft zu erkennen.

Zahlentafel 8.

Temperatur in °C	Wasserhöchstmenge x in g/kg
— 10	etwa 1,60
— 5	2,47
± 0	3,80
+ 5	5,40
+ 10	7,60
+ 15	10,60
+ 20	14,70
+ 25	20,00
+ 30	27,20
+ 35	36,60
+ 40	58,80
+ 45	65,—
+ 50	86,20

Erwärmen wir z. B. 1 kg Außenluft mit einer Temperatur von -5°C und 70% relativer Feuchtigkeit auf Raumtemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$, dann wird die Luft relativ trocken. Laut $t-x$ -Diagramm ergibt sich nach der Erwärmung von -5°C auf $+20^{\circ}\text{C}$ nur noch eine relative Feuchtigkeit von etwa 11%. Blasen wir nun trockene Luft in einen Raum, z. B. mit einem Luftzustand von $+18^{\circ}\text{C}$ und 50% relativer Feuchtigkeit ein, dann wird je nach der einblasenden Luftmenge die Raumluft auch relativ trockener. Der Aufenthalt in solchen Räumen mit trockener Raumluft ist sehr unangenehm, außerdem hat die Erfahrung mit sich gebracht, daß in Räumen, die dauernd eine zu trockene Luft enthalten, Möbel infolge Schrumpfung des Holzes geschädigt wurden und sich verziehen. Ölgemälde und auch andere wertvolle Gegenstände, wie auch Bücher, leiden in solcher Raumluft. Diesem Übel wollte man entgegenzutreten und stellte z. B. auf Heizkörper eine Schale mit Wasser. Die Wirkung solcher „Wasserverdunster“ war gleich Null und brachte unhygienische Zustände mit sich, da diese Schalen mehrfach dann nebenbei auch als Aschenbecher usw. gebraucht wurden.

Um nun die Luft mit einer entsprechenden erträglichen Feuchtigkeit versehen zu können, hat man die Befeuchtungsanlagen konstruiert. Die der Luft nun beizumischende Wassermenge muß der Temperatur und gewünschten Feuchtigkeit der Raumluft entsprechend abgemessen werden. Hierzu hat sich die sogenannte „Taupunktregelung“ am besten bewährt. Diese ermöglicht also die Schaffung und Aufrechterhaltung ganz bestimmter Luftverhältnisse. Auf diesen guten und einfachen Gedanken kam der Amerikaner W. H. Carrier, der das erstmal im Jahre 1905 davon Gebrauch machte. Das Ausschlaggebende war hierbei die Erkenntnis, daß der Luft durch Kühlung bestimmte Wassermengen entzogen werden können. Aus dem $t-x$ -Diagramm ergibt sich z. B.; dass, wenn man Luft von 26°C und 80% relativer Feuchtigkeit auf $+10^{\circ}\text{C}$ kühlt, der Wasserinhalt noch 7,6 gr/kg beträgt. Erwärmt man diese Luft mit 7,6 gr/kg wieder auf $+26^{\circ}\text{C}$, dann ergibt sich nur noch eine relative Feuchtigkeit von 35% gegenüber 80% vor der Kühlung. (Abb. 24). Die Wasserausscheidung beträgt somit

$$17,1 - 7,6 = 9,5 \text{ gr/kg.}$$

Der Taupunkt beträgt hierbei $+10^{\circ}\text{C}$, d. h. die Luft muß bis auf diese Temperatur gekühlt werden, um die überschüssige Wassermenge abgeben zu können. Dieser Vorgang ist im Sommer erforderlich, um die relativ hohe Luftfeuchtigkeit bei entsprechend hoher Temperatur auf den gewünschten Zustand zu bringen.

Zu irgendeinem Verarbeitungsprozeß sei nun z. B. Luft von $+26^{\circ}\text{C}$ und 80% relativer Feuchtigkeit erforderlich. Hierzu stehe Luft von 28°C und 50% relativer Feuchtigkeit zur Verfügung. Die Luft muß also befeuchtet werden, d. h. es müssen 5,1 gr/kg Luft Wasser zugefügt

werden, um eine relative Feuchtigkeit von 80% zu erhalten. Auch dieser Vorgang läßt sich einfachstens im t - x -Diagramm verfolgen.

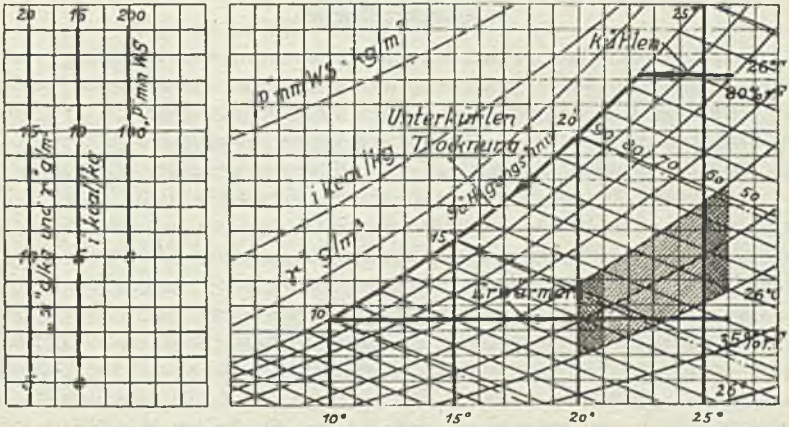


Abb. 24. Trocknen von Luft.

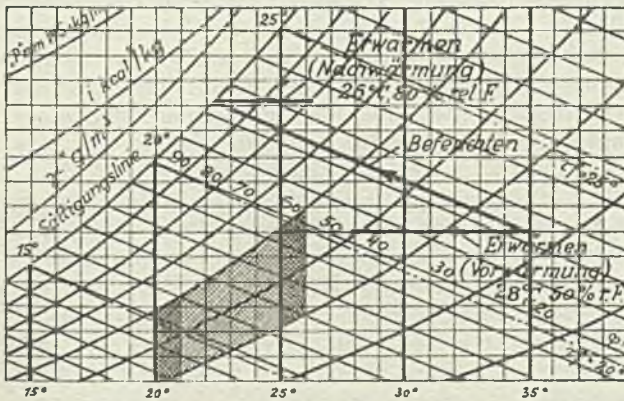


Abb. 25. Befeuchtung von Luft.

Wie aus dem t - x -Diagramm (Abb. 25) ersichtlich, wird die Luft zuerst vorerwärmt, dann befeuchtet, und schließlich auf die gewünschte Temperatur nacherwärmt. Der Taupunkt beträgt hierbei 22,4° C. Nach der Nacherwärmung ist der Wassergehalt derselbe, einzig und allein die relative Feuchtigkeit der Luft sinkt von 100% auf 80%.

IV. Abschnitt.

Klimaanlagen.

1. Geschichtliches.

Die Klimatechnik ist aus der Lüftungstechnik hervorgegangen, die zwei nächstverwandten Gebiete sind die Trocken- und Kältetechnik. Ein Klimagerät ist aus einzelnen Teilen zusammengestellt, die man fast seit Bestehen der Lüftungstechnik schon kennt; ausgenommen sind hiervon die elektrischen, hydraulischen und pneumatischen Regelorgane.

Vor etwa 60 Jahren nahm die Lüftungstechnik einen gewaltigen Aufschwung. Das Bauwesen stellte damals ganz neue und umfangreiche Aufgaben. Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser und Schulen erhielten ausgedehnte Lüftungsanlagen. Diese sprunghafte Entwicklung der Lüftungstechnik machte den damaligen Technikern und Hygienikern viel Kopfzerbrechen. Man stellte diesen Aufgaben, die dann — da noch keine genaueren Erfahrungswerte vorlagen — meist viel zu kompliziert gelöst wurden. So war die Bedienung solcher Lüftungsanlagen so unübersichtlich und verwickelt, daß ein gut geschulter Maschinist sich nicht einmal durchfand, und so fiel denn auch die Beurteilung seitens der Auftraggeber entsprechend aus. Die Bedienungskosten waren unter diesen Umständen viel zu hoch. Nicht zu unterschätzen war damals für die Entwicklung der Lüftungstechnik, daß zu jener Zeit die elektrischen Lüfter aufkamen. Im Herbst 1892 wurde z. B. die Lüftungsanlage im neuen Reichstagsgebäude in Berlin noch mit Dampfmaschine in Betrieb genommen. In dieser Zeit förderten mit ihren grossen wissenschaftlichen Arbeiten Rietschel, Fischer, Wolpert, Recknagel u. a. m. die Lüftungstechnik; Pettenkofer und seine Schule bewiesen der Öffentlichkeit, dass für gewisse Gebäudearten, je nach dem Verwendungszweck, Lüftungsanlagen unerlässlich sind. Heute ist man allerdings anderer Ansicht und berechnet die Lüftungsanlagen nicht, wie damals Pettenkofer, nach dem Kohlensäuremasstab. Da selbst in den kleinsten und dichtest besetzten Räumen ein Kohlensäuregehalt von nur wenigen Promille festgestellt werden konnten und nach Angaben bekannter Hygieniker jedoch 1 bis 2 ‰ Kohlensäure wochenlang ohne Schädigung ertragen werden, ist man von diesem Bemessungsmasstab abgekommen. Heute wird eine gewisse Luftmenge pro Person, welche sich u. a. nach dem Riech- und Ekelstoffmasstab ergeben haben, den Lüftungsanlagen zugrunde gelegt.

In den Anfängen der Lüftungstechnik hat man dann natürlich auch Heizflächen geschaffen, die die Luft auf die gewünschte Temperatur bringen sollen. Dazu gesellte sich später auch der Luftkühler, um im Sommer die Lüftungsanlagen wirkungsvoller betreiben zu

können. Im Winterbetrieb wurde, da die Luft infolge Erwärmung ohne Befeuchtung sehr trocken wurde, die Trockenheit der Luft sehr empfunden. Aber auch diesem Übel verstanden es die damaligen Techniker entgegenzutreten und konstruierten die Luftbefeuchter. Eine Luftfilteranlage vervollständigte die Lüftungsanlage. Die Luftfilter bestanden damals noch aus gespanntem Segeltuch oder ähnlichem. Bald kamen jedoch die damals mit grosser Mühe erbauten Lüftungsanlagen in Verruf, und zwar weil erstens die damaligen Anlagen so schwer zu bedienen waren, dass der Erfolg ausblieb und die Anlage ausser Betrieb gesetzt wurde und zweitens, weil infolge der hohen Betriebs- und Bedienungskosten die Lüftungsanlagen unwirtschaftlich wurden. Ein Teil des Misserfolges ist sicherlich auch darauf zurückzuführen, dass (da damals noch keine Erfahrungen vorlagen) die Anlagen zu klein bemessen wurden. Inzwischen hat sich die Lüftungs- und Klimatechnik in technischer Hinsicht sehr vervollständigt und man braucht beim Einbau einer Lüftungsanlage heute keine Bedenken mehr zu haben. Aus all den angeführten Einzelteilen einer Lüftungsanlage, wie Luftheritzer, Luftkühler, Luftbefeuchtungsanlagen, Lüfter usw., ist nun das Klimagerät entstanden, welches heute ohne Wartung und Bedienung ganz selbsttätig jeden gewünschten Raumluft-Zustand herstellen kann. Hoffen wir, dass die Klimatechnik auch zum Wohl der Schaffenden erhalten bleibt.

2. Einleitung.

Unter Klimaanlage verstehen wir solche Anlagen, die in der Lage sind, das Raumklima, also die Luftbeschaffenheit im Raum, bezüglich Temperatur, Feuchte, Reinheit und Bewegung der Luft in den, dem jeweiligen Anwendungszweck entsprechenden und vorausbestimmten Grenzen herzustellen und unabhängig von den Außenluftverhältnissen einzuhalten. Die Regelung kann selbsttätig oder mit der Hand erfolgen. Soll jedoch die Gleichmässigkeit der geforderten Zustandswerte innerhalb der gegebenen Begrenzung gewährleistet werden, empfiehlt es sich, die Regelvorrichtung selbsttätig vorzusehen. Je nach dem Anwendungszweck können die Anforderungen, die an eine Klimaanlage gestellt werden, sehr verschieden sein. Wird zum Beispiel eine Anlage aus hygienischen Gründen eingebaut (Büroräume, Schulen, Krankenhäuser, Lichtspielhäuser usw.), bestimmt die sogenannte Behaglichkeitszone je nach der Jahreszeit den anzustrebenden Luftzustand. In Deutschland

verschiebt sich die Behaglichkeitszone im Winter von 18 bis 21° C und im Sommer von 21 bis 25° C bei relativen Feuchtigkeiten von 35 bis 70%. Allgemein kann man sagen: Je höher die Lufttemperatur, desto trockener muß die Luft sein und je niedriger die Lufttemperatur, desto feuchter darf die Luft sein. Die Anforderungen, die Industrie und Gewerbe an die Höhe der Temperatur und Feuchte der Raumluft und an die Grenzen, innerhalb welcher der Luftzustand schwanken darf, stellen, sind sehr unterschiedlich in den verschiedenen Fertigungen und durch die Erfahrung festgelegt, aber im allgemeinen unabhängig von der Jahreszeit. Auch hier müssen die Grenzen, in denen Temperatur und Feuchte der Raumluft schwanken dürfen, genauestens eingehalten werden. So ist die Güte vieler Erzeugnisse, z. B. in Spinnereien, Tabaklagern und Tabakverarbeitungsräumen von dem Klima (Feuchte und Temperatur) abhängig. Gerade hier ist das ganze Jahr hindurch ein gleichmäßiges Raumklima unentbehrlich und anzustreben. Zahlentafel 9 enthält die Anforderungen, welche betreffs Temperatur und Feuchte je nach der Fertigungsart (nach der Erfahrung) an die Raumluft gestellt werden¹⁴).

Die meisten Klimaanlageanlagen können die relative Feuchtigkeit mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ und die Temperatur mit $\pm 1^\circ\text{C}$ konstant halten. Verschiedene Anwendungsgebiete verlangen jedoch noch kleinere Regelbereiche, so zum Beispiel sollen die Temperaturen in Sulfidierräumen für Zellwollherstellung das ganze Jahr über keine größeren Schwankungen als $\pm 0,35\%$ aufweisen. Im Dauerbetrieb wurde diese Genauigkeit tatsächlich erreicht. Übertreffen kann man diese Genauigkeit wohl nicht, wenn der Betrieb auch wärmeökonomisch sein soll. Isolieren wir den zu klimatisierenden Raum sehr gut gegen äußere Einwirkungen ab und wählen hierbei die umzuwälzende Luftmenge ziemlich groß, so kann unter Umständen die Genauigkeit noch etwas verbessert werden. Unwirtschaftlich würde jedoch diese Betriebsart, wenn infolge chemischer Verunreinigungen der Luft wenig Umluft bzw. Rückluft verwendet werden könnte, das heißt, wenn der größte Teil der Zuluftmenge als Fortluft wieder ins Freie geblasen werden müßte. Beträgt z. B. die Fortlufttemperatur $+ 20^\circ\text{C}$ bei einer relativen Feuchte von 60%, so ergibt sich der Gesamtwärmeinhalt der Luft bei einer Luftmenge von 10000 kg zu $10000 \cdot 10,2 = 102000$. Dies ist ein stündlicher Wärmeverlust, welcher sich im Winter noch zu dem Wärmeverlust infolge Wanddurchlässigkeit, Fensterundichtigkeit usw. zuaddiert (Wärmeverlustberechnung). Aus dieser Überlegung ist ersichtlich, daß möglichst viel Umluft bzw. Rückluft gewählt werden soll. Aus hygienischen Gründen soll man jedoch den Frischluftanteil nicht unter 25% der gesamt umzuwälzenden Luftmenge annehmen. Das Luftgemisch, Frischluft und Rückluft, verläßt nach dem Veredlungsprozeß, wie man das Aufbereiten der Luft im Klimagerät auch nennen kann, im hygienisch einwandfreien Zustand das Gerät, denn außer der Reinigung der Luft durch Filter wird die Luft im Befeuchter noch gewissermaßen gewaschen.

Zahlentafel 9.

Günstige Luftverhältnisse für verschiedene Betriebe¹⁴⁾.

Betrieb	Arbeitsvorgang	Temp. in ° C	Rel. F. in %
Textilindustrie ..	Baumwolle Vorbereitung.	20 bis 25	50 bis 60
	„ Spinnerei	20 „ 25	60 „ 70
	„ Weberei	20 „ 25	70 „ 80
	Wolle Vorbereitung	20 „ 25	65 „ 70
	„ Spinnerei	20 „ 25	60 „ 80
	„ Weberei	20 „ 25	60 „ 80
	Kunstseide Spinnerei	20	80 „ 90
	„ Zwirnerei	20	70 „ 80
	Seide Spinnerei	22 bis 25	65 „ 70
„ Weberei	22 „ 25	60 „ 80	
Tabakindustrie ..	Zigarren und Zigaretten- Herstellung	20 „ 22	60 „ 70
	Befeuchtung	30 „ 35	80 „ 90
Druckerei	Schneiden	20 „ 22	60 „ 70
	Falzen	20 „ 22	60 „ 70
Filmindustrie	Entwicklung	20 „ 22	60
	Trocknung	22 „ 25	50
	Schneiden	22	65
Süßwaren	Schokolade Herstellung	17 bis 18	50 bis 55
	Packraum	18	50 „ 60
	Lageraum	16 bis 17	50 „ 60
Bücherei	Buchlager	18 „ 20	40 „ 60
Lackiererei	Spritzlackierung	20 „ 25	55 „ 65
Krankenhaus	Operationsraum	24 „ 27	40 „ 65

In einwandfreiem Zustand des Filters beträgt dessen Wirkungsgrad durchschnittlich 90 bis 98%. (Siehe unter Luftfilter.) Unter der Bezeichnung Rückluft verstehen wir diejenige Luftmenge, welche dem zu klimatisierenden Raum entnommen, mit der Frischluft vor dem Klimagerät gemischt und dann mit der Frischluft zusammen durch das ganze Klimagerät geführt wird. Die Umluft ist diejenige Luftmenge, welche der Frischluft nach der Befeuchtung, jedoch vor dem Nachwärmen,

beigemischt wird. Bei genügender Zumischung von Umluft erspart sich unter Umständen das Luftnacherhitzen. Diese Betriebsart ist sehr wirtschaftlich und läßt sich in den meisten Fällen durchführen. Außer der mit sich bringenden Wirtschaftlichkeit kann die Umluftbeimischung auch als eine gewisse zusätzliche Feinregelung bewertet werden, welche auch durch entsprechende Einrichtungen und Regelorgane selbsttätig gestaltet werden kann. Hierüber siehe genaueres unter „Regelorgane“. Inwieweit nun Rückluft bzw. Umluft verwendet werden kann, ist von Fall zu Fall zu überprüfen, und es kann hierüber keine allgemein gültige Regel aufgestellt werden. Es ist jedoch zu empfehlen, soviel wie nur möglich Umluft bzw. Rückluft zu verwenden, da damit die Betriebskosten erheblich vermindert werden können. Ob man nun Rückluft oder Umluft zur Beimischung zu der Frischluft verwenden soll, ist von folgenden Überlegungen und Gegebenheiten abhängig:

Umluft kann man ohne Bedenken verwenden, wenn die Raumluft nicht großen, das heißt nur geringen Verunreinigungen ausgesetzt ist. Aus chemischen Laboratorien, aus dicht besetzten Räumen, in denen noch besonders stark geraucht wird, oder aus Räumen, in denen lästige Gerüche entstehen, soll wenig Umluft entnommen werden. In solchen Fällen ist viel Frischluft zu verwenden, z. B. 60%, und den Rest von 40% kann man mit Rückluft decken.

Soll eine Klimaanlage einwandfrei arbeiten, so sind die manchmal so unwesentlich erscheinenden Nebensachen doch bei der Projektierung zu berücksichtigen, da eine Vernachlässigung dieser unter Umständen eine Enttäuschung und viel Ärger mit sich bringen kann. Eine bei der Projektierung von Anfang an gut überlegte und dann mit aller Sorgfalt gebaute Klimaanlage wird zur vollen Zufriedenheit arbeiten. Deshalb sind Klimaanlagen beim Fachmann zu bestellen und nicht bei dem, welcher diese nebenbei zur Ergänzung seiner Beschäftigung ausführt, auch wenn letzterer die Anlage scheinbar billiger liefern kann, denn schließlich ergeben sich noch Nacharbeiten, so daß der Fachmann letzten Endes doch billiger arbeitet. Die vom Nichtfachmann gebauten Klimaanlagen werden meist die gewünschten Forderungen nicht erfüllen und somit die Klimaanlagen nur in Verruf bringen.

3. Das Klimagerät und sein Aufbau.

Die vollautomatische Klimaanlage besteht grundsätzlich aus einer Mischluftkammer für Frisch- und Rückluftmischung mit eingebauten Frisch- und Umluftklappen und Umföhrungsklappen, einem Röhren- oder Oberflächenluftkühler zur Speisung mittels Frischwasser, Grundwasser oder mit einer Kältemaschine, einem Luftwäscher, welcher zugleich zur Befeuchtung der Luft dient, mit Spezialzerstäubungsdüsen

oder ähnlichen für Umlaufwasser, einem Wassersammelgefäß gegebenenfalls, wenn der Luftvorwärmer nicht wegfällt, mit eingebautem Heizregister für Wassererwärmung im Winter, einer Umwälzpumpe für die DüsenSpeisung, einem Wasserfilter zur Reinigung des Umlaufwassers, einem Schwimmerventil, welches die durch die Wasseraufnahme der Luft (Befeuchtung) im Wassersammelgefäß fehlende Wassermenge wieder diesem zuführt, einer Überlaufleitung, einer Entleerungsleitung, einem Tropfenabscheider für die Niederschlagung des in Tropfenform mitgeführten Wassers aus dem Wäscher (Befeuchter), einem Wintertaupunktregler und einem Sommertaupunktregler, gegebenenfalls einer Umluftkammer, einem Nachlufferwärmer, einem ölbenetzten Luftfilter zur Reinigung der Luft, einem Lüfter (Ventilator) zur Luftbeförderung und schließlich einer kompletten vollautomatischen Temperatur- und Feuchtigkeitsregelung.

Die automatische Steuerung umfaßt außer den bereits erwähnten Winter- und Sommer-Taupunktreglern einen Raumregler für Temperaturkontrolle im Raum, einen Grenzregler für Temperaturkontrolle im Zuluftkanal, Membran- oder elektrogesteuerte Ventile in der Speiseleitung zum Luft-Vorerwärmer und -Nacherwärmer, gegebenenfalls wenn der Luftvorerwärmer wegfällt, auch in der Speiseleitung zum Heizregister im Wassersammelgefäß und in der Frischwasserleitung zur Kühlerspeisung und bei Verdunstungskühlung für die Speiseleitung der Wasserzerstäubungsdüsen. Ferner können die Frisch- und Umluft- oder Rückluftklappen in den Mischkammern und die Umführungsklappen im Umführungskanal durch Membran- oder elektrisch betriebenen Klappenversteller betätigt werden. Außerdem umfaßt die Regelung ein Steuer-Relais für elektrischen, elektrohydraulischen oder elektropneumatischen Betrieb, einen Kontaktgeber mit eingebautem langsamlaufenden Motor zur Unterbrechung des Steuerstromes in regelmäßigen Zeitabständen, gegebenenfalls einen Luftkompressor zur Förderung der Druckluft für die Betätigung der Membranventile und Klappenversteller, einen Windkessel als Druckluftreserve und zur Vergrößerung der Schaltintervalle für den Kompressor, eine Reduzierstation zur Verminderung des Druckes vom Kompressor auf 1 atü Betriebsdruck, ein Luftfilter zur Reinigung der Druckluft. Bei elektrohydraulischem Betrieb fällt die Kompressoranlage mit Zubehör weg. An Stelle der Druckrohrleitung tritt die gewöhnliche Wasserleitung, ebenfalls mit eingebautem Wasserfilter. Bei elektrischem Betrieb tritt an Stelle dieser Druckleitungen mit eingebautem Filter und Zubehör die elektrische Verdrahtung. Hierzu sind elektro-angetriebene Motorventile und Klappenversteller zu verwenden. Zur Vervollständigung gehören zur Anlage ferner noch die notwendigen, mit der Hand zu betätigenden Absperrventile und Kleinarmaturen, wie Thermometer, Hygrometer, Wasserstandsanzeiger, Druckmesser usw.

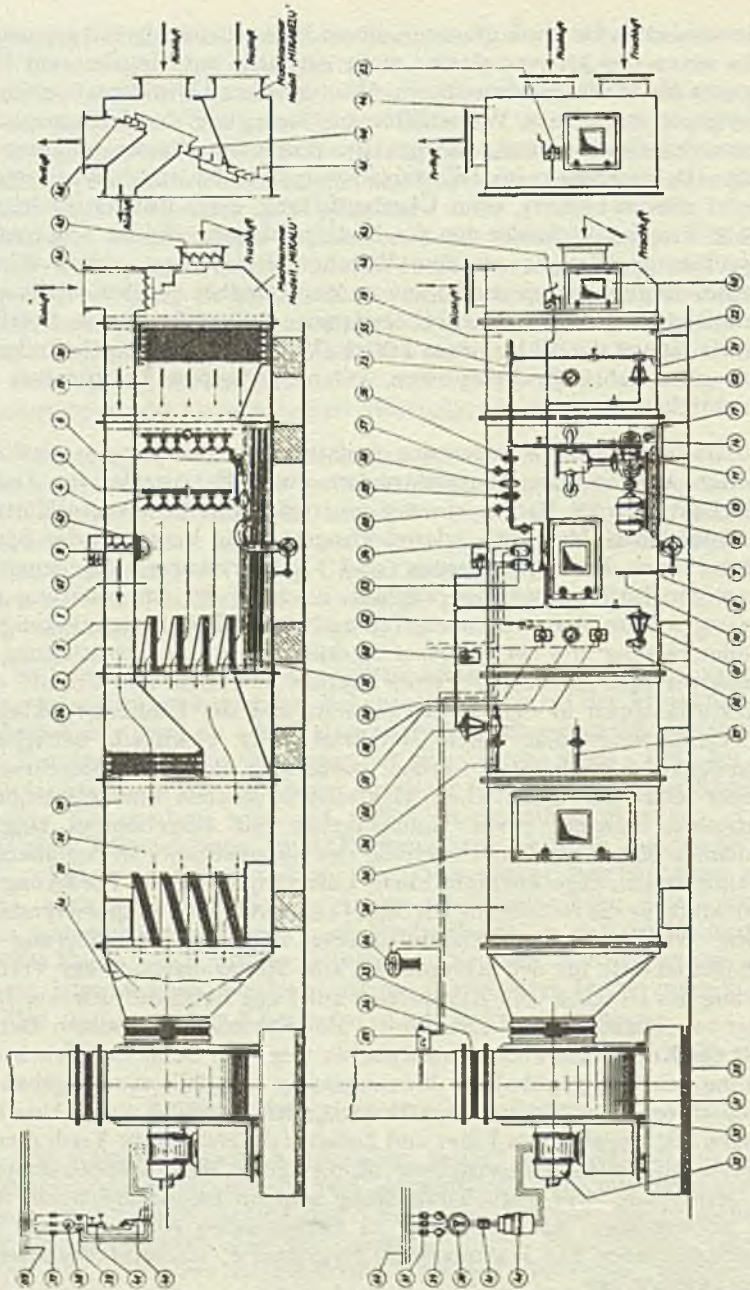


Abb. 26. Vollautomatische Klima-Zentrale mit elektrohydraulischer Regelung

Bezeichnung der Einzelteile.

- | | |
|---|---|
| 1. Luftwäschergehäuse. | 39. Kontrolleuchter (Lampen). |
| 2. Lufteführungskanal. | 40. Motorschutzschalter mit Schütz. |
| 3. Düsenverteilungsrohr. | 41. Druckknopftaster für Schütz-
betätigung. |
| 4. Spiralzerstäubungsdüsen. | 42. Verbindungspaßstück. |
| 5. Tropfenabscheider. | 43. Mischkammer. |
| 6. Schwimmerventil. | 44. Mischkammer. |
| 7. Überlaufleitung. | 45. Frischluftklappe. |
| 8. Entleerungshahn. | 46. Rückluftklappe. |
| 9. Elektrische Innenbeleuchtung. | 47. Umföhrungsluftklappe. |
| 10. Wasserstandsanzeiger. | 48. Fortluftklappe. |
| 11. DüsenSpeisungspumpe. | 49. Kontrolltür für Luftklappen. |
| 12. Umwälzpumpenmotor. | 50. Sommer-Taupunktregler. |
| 13. Filter für DüsenSpeisewasser. | 51. Winter-Taupunktregler. |
| 14. Schwimmerventilspeiseleitung. | 52. Umschalter für Taupunktregler. |
| 15. Heizregister. | 53. Hilfsventile am Steuerkopf. |
| 16. Heizmitteleintritt für Heizregister. | 54. Drucksammler am Steuerkopf. |
| 17. Heizmittelaustritt für Heizregister. | 55. Frischwasserzuleitung. |
| 18. Thermometer. | 56. Absperrventil. |
| 19. Luftkühlergehäuse, | 57. Manometer. |
| 20. Luftkühlerclement. | 58. Wasserfilter. |
| 21. Kühlwasserspeiseleitung zum
Kühler. | 59. Druckverminderer (Reduzier-
ventil). |
| 22. Kühlwasserabflußleitung zum
Kühler. | 60. Manometer. |
| 23. Thermometer. | 61. Membranventil zum Heizregister. |
| 24. Luftnacherwärmergehäuse. | 62. Membranventil zum Luftkühler. |
| 25. Luftnachwärmeelement. | 63. Membranhebel für Klappen-
steuerung. |
| 26. Heizmitteleintritt für Luftnach-
erwärmer. | 64. Raumregler. |
| 27. Heizmittelaustritt für Luftnach-
erwärmer. | 65. Grenzregler. |
| 28. Einbauluftfiltergehäuse. | 66. Membranventil am Luftnach-
erwärmer. |
| 29. Luftfilterzellen. | 67. Membranhebel für Umföhrungs-
klappe. |
| 30. Bedienungstür zum Luftfilter. | 68. Motorkontaktgeber und Zeit-
schalter. |
| 31. Zuluftlüfter (Ventilator). | 69. Elektrisches Hauptanschlußnetz. |
| 32. Antriebsmotor für Zuluftlüfter. | 70. Anschlußstutzen zum Einmauern. |
| 33. Saugseitiger Segeltuchstutzen. | 71. Mischkammer. |
| 34. Druckseitiger Segeltuch-
stutzen. | 72. Mischkammer. |
| 35. Schwingungsdämpfer. | 73. Luftwäschergehäuse. |
| 36. Korkisolation. | 74. Einbauluftfiltergehäuse. |
| 37. Sicherungselemente. | 75. Luftnachwärmergehäuse. |
| 38. Ampèremeter. | |

Ist von Anfang an nicht eine gemauerte Klimazentrale vorgesehen, dann wird, wie in den meisten Fällen, das Klimagerät aus kräftigem Schmiedeeisen hergestellt und ist innen und außen verzinkt. Sowohl zum Luftbefeuchter (Düsenkammer) als auch zum Filterraum sollen Türen mit Schaugläsern (Marinefenster) den Zugang ermöglichen. Eine dichte Abschließung dieser Türen ist erforderlich.

Abbildung 26 zeigt eine vollautomatische Klimazentrale mit elektrohydraulischer Regelung im Schnitt und in der Ansicht sowie mit ver-

schieden möglichen Anschlüssen für Frischluft, Rückluft und Fortluft oder nur für Frischluft und Rückluft mit eingebauten Klappen, welche abhängig voneinander betätigt werden.

4. Beschreibung der Einzelteile einer Klimaanlage.

a) Die Lüfter (Ventilatoren).

Zur Luftbewegung sind bei einer modernen Klimaanlage die Lüfter unentbehrlich. Hierbei ist in den meisten Fällen ein Zuluft- und ein Fortluft- bzw. Umluft-Fortluft- oder Rückluft-Fortluft-Lüfter je nach

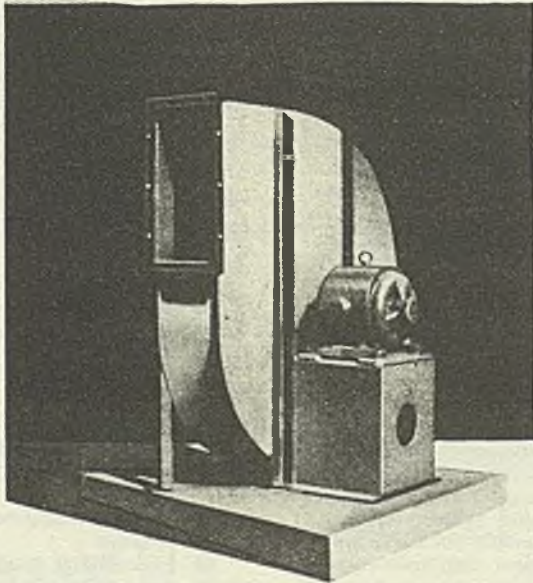


Abb. 27. Lüfter mit direkt gekuppeltem Elektromotor.

der Betriebsart erforderlich. Bekanntlich unterscheidet man bei den Lüftern die Niederdruck-, Mitteldruck- und Hochdruck-Lüfter. Da bei Klimaanlage kaum mit höheren Drücken als 150 mm WS. zu rechnen ist, wird man in den meisten Fällen mit Niederdrucklüftern auskommen. Der Antrieb der Lüfter wird durchweg durch Elektromotoren erfolgen. Ausnahmefälle wird es hierbei auch geben, so z. B. kann, wenn in genügenden Mengen Dampf (Abdampf) vorhanden ist, der Antrieb der Lüfter auch durch Dampfturbinen erfolgen. Die Antriebsmotore sind entweder direkt mit dem Lüfter-Flügelrad gekuppelt oder mittels Keilriemen verbunden. Letztere Verbindungsart ist zweckmäßig, wenn sehr niedrige Drehzahlen gefordert werden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei Klima-

anlagen keine Lüfter mit hohen Drehzahlen verwendet werden sollen, da hierbei sonst sehr leicht Geräusche entstehen können, die sich dann durch das ganze Luftverteilungsnetz (Kanäle) fortpflanzen.

Die Geräuschlosigkeit des ganzen Betriebes ist eine der wichtigsten Forderungen. Es ist genauestens darauf zu achten, daß alle rotierenden Teile des Lüfters und Antriebsmotors bestens ausgewuchtet sind. Die Geräuschbildung kann verschiedene Ursachen haben. So können z. B.

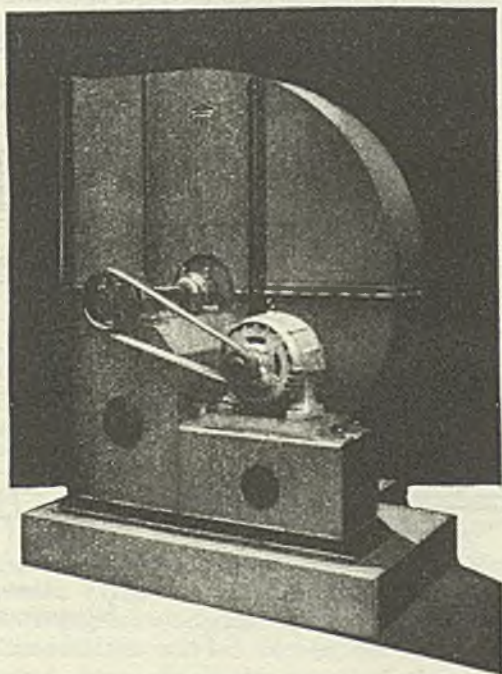


Abb. 28. Lüfter mit Keilriemenantrieb und Elektromotor.

von den Lagern der Motore und Lüfter Schwingungen ausgehen, die sich dann entweder als Schall durch die Luft oder als Erschütterung durch das Fundament fortpflanzen. Einem Schall, welcher sich z. B. von den Lagern infolge schlechter Auswuchtung ergeben kann, könnte man nur durch Behebung dieses Fehlers entgegenzutreten. Die Erschütterungen, welche sich durch das Fundament fortzupflanzen versuchen, können durch Anbringen von Schwingungsdämpfern unterbunden werden.

In der Praxis hat sich gezeigt, daß die Aufstellung des Lüfters auf eine Fundamentplatte und das Aufstellen dieser auf eine entsprechende

Anzahl Schwingungsdämpfer eine sehr gute Lösung ist. Hierbei besteht die Fundamentplatte aus einem NP. 6 bis 12 Profileisenrahmen (je nach der Größe des Lüfters), welche mit Beton ausgegossen ist. Beim Ausfüllen des Eisenrahmens mit Beton können die Schrauben für die Befestigung des Lüfters eingelegt werden, was auch eine Erleichterung mit sich bringt.

Eine weitere Störungsquelle bildet der sogenannte Luftschall, welcher durch Schläge der einzelnen Lüfterflügel entstehen kann. Durch ein Brummen der ganzen Anlage macht sich dieser Fehler bemerkbar. Treten hierzu Resonanzerscheinungen, dann kann diese Störung besonders stark werden. Resonanzerscheinungen entstehen besonders bei

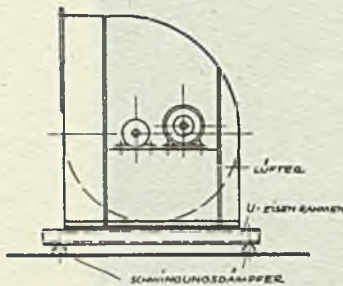


Abb. 29. Lüfter auf Fundamentplatte mit Schwingungsdämpfer.

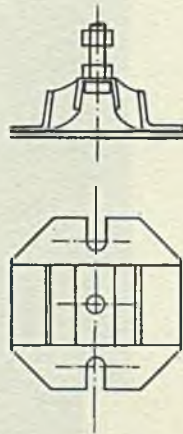


Abb. 30. Schwingungsdämpfer.

Blechkanälen mit zu geringer Blechstärke, Kanälen aus anderem Material, dessen Wandstärke zu gering ist oder deren Wandversteifungen zu mangelhaft sind.

Ersterer Störung kann durch entsprechendes Drosseln der Drehzahl Abhilfe geschaffen werden. Da jedoch dadurch die beförderte Luftmenge entsprechend der Drosselung geringer wird, ist diese Lösung unzuweckmäßig, und der Einbau eines neuen Flügelrades mit anderer Teilung wird die bessere Lösung sein. Durch richtiges Versteifen der Kanalwänden kann auch die zweitgenannte Störungsart behoben werden.

Eine weitere Störungsquelle bildet eine zu hohe Strömungsgeschwindigkeit der Luft, welche ein sogenanntes Rauschen hervorruft. Unströmungstechnische Kanalführung und Reibung an den Kanalwänden verstärken dieses Rauschen um so mehr, je höher die Strömungs-

geschwindigkeit ist. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind also entsprechend einzuhalten und nicht zu hoch zu wählen. Hierüber enthält Zahlentafel 10 Werte über die Strömungsgeschwindigkeit.

Zahlentafel 10.

Empfehlenswerte Luftgeschwindigkeiten innerhalb der Klimaanlage.

Meßstelle	Abluftgeschwindigkeit m/sec		Zuluftgeschwindigkeit m/sec	
	Öffentliche Gebäude	Gewerbl. Betriebe	Öffentliche Gebäude	Gewerbl. Betriebe
Laufradaustritt	10--15	15--20	8--12	10--15
Lüfteransaugstutzen	6--10	10--12	5--8	8--10
Lufterhitzer	—	—	4--5	5--8
Horizontale Haupt- Kanäle	5--8	8--12	4--6	5--8
Gitter und Auslässe .	1--2,5	4--10	1--3	3--6
Luftentnahmestelle .	3--6	6--10	3--5	5--7
Luftfilter-Wäscher .	—	—	2	2
Hauptjalousien	2--4	4--6	2--3	3--6

Erfahrungsgemäß soll die Umdrehungszahl des Lüfters so gewählt werden, daß zwecks Verhütung von Geräusch besonders bei Komfortanlagen die Umfangsgeschwindigkeit innerhalb 20—24 m/s liegt. Bei industriellen Klimaanlageanlagen und bei solchen, die in einem Kellergeschoß untergebracht sind, kann die Umfangsgeschwindigkeit bis zu 50 m/s betragen. Zum Antrieb des Lüfters werden, wie schon erwähnt, fast ausschließlich Elektromotore verwendet. Hierbei unterscheidet man folgende Motorarten:

1. Drehstrom-Motoren:

a) Kurzschlußanker-Motoren.

Diese lassen sich in der Umdrehungszahl nicht ändern, d. h. es können hierzu keine Drehzahl-Regler verwendet werden. Im Leerlauf haben diese Motoren eine Drehzahl pro Minute je nach der Polzahl von 3000, 1500, 500 und 400 (bei einer Frequenz von 50 Perioden in der Sekunde). Diese Motoren werden meist bis zu Leistungen von 3 bis 4 kW verwendet.

b) Schleifringanker-Motoren.

Die Schleifringanker-Motoren sind gegenüber den Kurzschlußanker-Motoren etwas teurer, haben jedoch den Vorteil in der Drehzahl-Regulierbarkeit für sich.

Die Regulierung erfolgt hierbei durch einen Regulieranlasser. Verwendung finden diese Motoren bei Leistungen über 3 bis 4 kW.

2. Gleichstrom-Motoren:

Steht keine andere Art elektrischen Stromes als Gleichstrom zur Verfügung, dann ist unter den Gleichstrom-Motoren der Nebenschlußmotor der brauchbarste. Durch entsprechende Feldschwächung kann bei diesem die Drehzahl auch reguliert werden. Regulierverhältnis bis etwa 1 : 5. Das Anzugsmoment ist nicht so stark wie beim Hauptstrommotor. Hauptstrommotoren können nur bei direkter Kupplung mit der Flügelradachse verwendet werden, denn bei eventuellem Abspringen der Keilriemen, also im Leerlauf, geht er durch, d. h. die Drehzahl nimmt stetig zu, bis infolge der Zentrifugalkraft der ganze Motor zerspringt.

Berechnung der Nutzleistung des Antriebsmotors für die Nutzleistung.

Zur Berechnung der Nutzleistung des Antriebsmotors muß der gesamte Druck, den der Lüfter zu überwinden hat, bekannt sein. Der Gesamtdruck ergibt sich aus den Einzelwiderständen und der Rohrreibung $R \cdot l$ sowie aus der Geschwindigkeitshöhe (Dynamischer Druck) des Lüfters zu:

$$H = \Sigma (l \cdot R + Z) + \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \text{ in mm WS.} \quad (43)$$

Die Nutzleistung des Antriebsmotors errechnet sich nach der Gleichung

$$N_n = \frac{V \cdot H}{75 \cdot \eta_{\text{Lüfter}}} \text{ in PS,} \quad (44)$$

oder

$$N_n = \frac{V \cdot H}{102 \cdot \eta_{\text{Lüfter}}} \text{ in kW.} \quad (45)$$

In diesen Gleichungen bedeuten:

V = sekundliche Luftfördermenge in m^3 des Lüfters,

H = Gesamtdruck in mm WS.,

75 = Umrechnungsfaktor (1 PS = 75 mkg/sec).

102 = Umrechnungsfaktor (1 kW = 102 mkg/sek),

η = Wirkungsgrad des Lüfters,

N_n = Nutzleistung.

Die Nutzleistung des Antriebsmotors ist in der 3. Potenz der Fördermenge proportional. Hieraus folgt eine für den Betrieb wichtige Tatsache:

Wird der Elektromotor infolge Überlastung warm, so versucht man wohl, irgendwelche Widerstände im Luftstrom zu beseitigen, z. B. durch Öffnen von Klappen oder Türen. Dies ist nach Vorstehendem falsch. Die Beseitigung der Widerstände macht die Luftmenge größer und damit auch den Kraftbedarf. Man muß im Gegenteil die Widerstände vergrößern, damit das Luftvolumen abnimmt und der Motor entlastet wird.

Die Proportionalitäts-Gesetze.

Es ist festgestellt worden, daß:

1. die Nutzleistung des Antriebsmotors der Luftfördermenge in der 3. Potenz proportional ist,
2. der Druckabfall proportional dem Quadrat der Luftfördermenge ist,
3. der Druckabfall proportional der Leitungslänge ist,
4. der Druckabfall in der 5. Potenz umgekehrt proportional des Leitungsdurchmessers ist.

Daraus ergeben sich für uns folgende wichtige Bezeichnungen:

1. Die Luftmenge V_1 wird bei einer Umdrehungszahl U_1 befördert. Wie verhält sich nun die Luftmenge bei U_2 ?

$$V_2 = V_1 \frac{U_2}{U_1} \text{ in m}^3/\text{h}. \quad (46)$$

Zum Beispiel:

$$V_1 = 10000 \text{ m}^3/\text{h}; \quad U_1 = 720; \quad U_2 = 950.$$

Es wird somit

$$V_2 = 10000 \cdot \frac{950}{720} = 13200 \text{ m}^3/\text{h}.$$

2. Welcher Förderdruck ergibt sich in obigem Beispiel, wenn dieser bei V_1 und U_1 , $p = 11$ mm WS. betragen hat.

$$p_2 = p_1 \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \text{ in mm WS}. \quad (47)$$

Zu obigem Beispiel

$$p_2 = 11 \left(\frac{950}{720} \right)^2 = 26 \text{ mm WS.}$$

3. Der Leistungsverbrauch betrug bei $p_1 = 1,1$ PS, wieviel bei U_2 ?

$$N_2 = N_1 \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^3 \text{ in PS.} \quad (48)$$

Zu obigem Beispiel:

$$N_2 = 1,1 \left(\frac{950}{720} \right)^3 = 2,5 \text{ PS.}$$

Auswahl des Lüfters:

Für eine verlangte Leistung sind zahllose Ausführungsformen und Größen vorhanden. Die richtige Wahl des Lüfters ist von großer Bedeutung, besonders dann, wenn möglichst geräuschloser Betrieb verlangt wird. Zur richtigen Wahl sind folgende Punkte zu beachten:

1. Die Ansaugeschwindigkeit sollte, um keine Geräusche zu verursachen, nicht größer als 6 bis 8 m/s gewählt werden.
2. Die Austrittsgeschwindigkeit am Lüfterstutzen nicht größer als 8 bis 10 m/s.
3. Die Umdrehungszahl sollte die Grenze 900 U pro Minute nicht überschreiten.
4. Die Umfangsgeschwindigkeit kann in den Grenzen 20 bis 24 m/s für Komfortanlagen und für Industrieanlagen 20 bis 50 m/s gewählt werden.
5. Geräusche steigen mit dem Förderdruck, daher auf geringen Widerstand des Luftweges achten.

Besonders bei Komfortklimaanlagen, wo eine geringstmögliche Geräuschstärke verlangt wird, ist diesen Punkten besondere Beachtung zu schenken.

In betriebstechnischer Hinsicht sei noch auf folgendes hingewiesen:

Beim Aufstellen von Lüftern in kühlen Räumen besteht die Gefahr der Kondenswasserbildung im Lüftergehäuse. Es betrifft dies in der Hauptsache Abluftlüfter, die warme Luft von großer relativer Feuchtigkeit fördern. Derartige Lüfter sind deshalb noch mit einer Entwässerungsleitung zu versehen. In vielen Fällen leistet auch eine im unteren Teil des Lüftergehäuses angebrachte Putzöffnung wertvolle Dienste, um heruntergefallene Gegenstände, Schrauben, Bauschutt usw. ohne Zeitverlust zu entfernen.

b) Die Luftfilter.

1. Allgemeines.

Bevor nun die Luftfilter beschrieben werden, ist es zweckmäßig, auf deren Wichtigkeit hinzuweisen.

Vielfach herrscht noch große Unklarheit über den Aufbau und den Nutzen der Luftreinigung beim Betrieb von Klima- und Lüftungsanlagen. Diese Fragen sollen nun unter Hinweis auf die VDI.-Lüftungsregeln eingehend untersucht werden. Es wird dargestellt, daß die Luftreinigung in erster Linie wirtschaftliche Bedeutung hat, daß aber auch hygienische Erfordernisse mitbestimmend für die Notwendigkeit der Anwendung von Luftfiltern sind.

Die Luftreinigung kann weder bei Klima- noch bei Lüftungsanlagen entbehrt werden.

In den vom Verein deutscher Ingenieure herausgegebenen „Lüftungsregeln“ heißt es im Abschnitt „Mindestforderung bei Lüftungsanlagen“, was natürlich auch für Klimaanlagen gültig ist, unter Punkt 7: „Um das Verschmutzen der Kanäle in der Zeit zwischen zwei Reinigungen zu beschränken, muß die aus dem Freien genommene Luft so weit gereinigt werden, daß sie nicht mehr als 0,5 mg Staub je m³ enthält.“

Einleitend ist in den Regeln der Begriff Versammlungsraum erläutert. Unter diesen Begriff fallen Theater, Lichtspielhäuser, öffentliche Versammlungsräume, Vortragssäle, Festsäle, Gaststätten und ähnliche Räumlichkeiten. Da jedoch Klimaanlagen auch für Büroräume, Krankenzimmer usw. gebaut werden, gelten die in den Regeln angegebenen „Mindestanforderungen“ betreffs Luftreinigung auch hierzu. Als Mindestanforderungen werden die Anforderungen bezeichnet, die eine Anlage (Klima- oder Lüftungsanlage) mindestens erfüllen muß, damit sie als technisch einwandfrei und vollwertig bezeichnet werden kann. Als Zweck der Mindestanforderung wird unter anderem angegeben, daß sie vor allem die Bestellung minderwertiger Anlagen verhindern soll.

Nach den Lüftungsregeln gehören also zu jeder Klimaanlage Einrichtungen zur Reinigung der zugeführten Luft. Diese Reinigung erfolgt fast ausschließlich durch ölbenetzte Metallluftfilter, deren Konstruktion und Wirkungsweise noch besprochen werden. Es sei nur darauf hingewiesen, daß in den Lüftungsregeln der Ausdruck „Saalfilter“ geprägt wurde. Mit diesem Wort werden von einer unabhängigen Stelle geprüfte Luftfilter bezeichnet, die einen Entstaubungswirkungsgrad von mindestens 90% haben, das heißt, einen Staubgehalt der Rohluft von 5 mg/m³ auf den oben angegebenen Staubgehalt von 0,5 mg je m³ herabsetzen können.

Bei Klima- wie auch bei Lüftungsanlagen wird die Luft bekanntlich aus dem Freien entnommen und den Räumen als Zuluft durch Kanäle zugeführt. Da sich in den Kanälen Staub ausscheidet, ist die Zuluft

deshalb nicht staubreicher als die Außenluft. Und, wenn diese zu keinen hygienischen Bedenken in bezug auf Staubgehalt Anlaß gibt, würde die Forderung, die Luft für die nur zu zeitweiligem und verhältnismäßig kurzem Aufenthalt benutzten Aufenthaltsräume staubärmer als die Außenluft zu machen, weder hygienisch noch wirtschaftlich begründet und vertretbar sein. Ganz anders liegen dagegen die Verhältnisse, wenn man das Kanalnetz (Luftkanäle) zum Ausgangspunkt seiner Betrachtungen macht. Die Kanäle, durch die die Zuluft strömt, bilden vor allem dann, wenn sie viele Krümmungen aufweisen, regelrechte Staubfänger. Der Staub bleibt an den Wandungen und Stoßstellen der Kanäle und hauptsächlich in deren Ecken und Winkeln liegen. Damit entstehen mit der Zeit Staubansammlungen in den Kanälen, die sehr bald unangenehme Wirkungen haben können. Insbesondere geben die organischen Bestandteile des Staubes — etwa ein Drittel der Gesamt-Staubmenge — zu Übelständen recht unerfreulicher Art Anlaß. Der sich in den Kanälen sammelnde organische Staub kann sehr leicht zu Brutherden für Bakterien, Fäulniserreger und Ungeziefer werden. Diese Kleinlebewesen werden mit der Außenluft immer von neuem zugeführt, sie entwickeln sich dann auch noch besonders stark, wenn die Luft bzw. der Staub feucht ist oder Feuchtigkeit auf andere Weise in die Kanäle gelangt. Durch Vermoderung und Fäulnis der organischen Staubbestandteile und des Ungeziefers können widerliche Gerüche entstehen, die mit der durch die Kanäle strömenden Luft in die Räume gelangen. Trocknet der Staub infolge der Lufterwärmung während des Winterbetriebes aus, so wird ein Teil der im Sommer angesammelten Staubmengen mit allem Unrat an Ungeziefer von der durch die Kanäle strömenden Luft wieder aufgewirbelt und in die belüfteten Räume als recht unerwünschte Beigabe mitgenommen. Es ist klar, daß eine solche „Luftaufbereitung“ keinesfalls dem Zweck einer Klimaanlage entspricht, die ja gesundheitlich einwandfreie Luftverhältnisse schaffen soll¹⁶⁾.

Sehr eindrucksvoll hat bereits F. Alter¹⁵⁾ auf diese Übelstände hingewiesen. Er hat schon vor Jahren festgestellt, daß die Luftkanäle sich als „Ungeziefervermittler“ erwiesen haben und fordert, daß bei Lüftungs- und Klimaanlage keine Kanalnetze entstehen dürfen, die Staub ansammeln und Ungeziefer verbreiten.

An sich besteht natürlich die Möglichkeit, die Luftkanäle auch ohne Anwendung von Luftfiltern wenigstens einigermaßen sauber zu halten. Das fordert aber eine sehr häufige Reinigung der Kanäle, die außer einer sehr aufmerksamen Wartung recht beträchtliche Kosten verursacht und aus diesem Grunde, wie es sich in der Praxis auch erwiesen hat, unterbleibt. Allerdings haben auch die Luftfilter keine 100prozentige Wirkung. Es bleibt deshalb immer ein Reststaub in der gereinigten Luft, und die Kanäle müssen auch bei Anwendung von Luftfiltern

ab und zu gereinigt werden. Wenn man aber überlegt, daß bei einem Entstaubungsgrad von 90%, der von Saalfiltern gefordert wird, nur rund 10% — anstatt 100% — des in der Außenluft enthaltenen Staubes in der gereinigten Luft zurückbleiben und daß der Häufigkeitsgrad der Kanalreinigung diesem Verhältnis (10:1) beim Fehlen und Vorhandensein von Luftfiltern entspricht, so erkennt man, wieviel Kosten und Zeitaufwand für die Reinigung der Kanäle durch die Luftfilter gespart werden. Außerdem soll ja die Luft in einwandfreiem, hygienischem Zustand dem Raum zugeführt werden. Der Einbau von Luftfiltern ist stets zu empfehlen und macht sich meist auch bezahlt.

Nebenbei sei noch folgendes gesagt:

Außer in den Kanälen setzen sich beim Fehlen des Luftfilters die in der Luft verbleibenden Verunreinigungen auch an den Heizkörpern zur Erwärmung der Luft fest. Sind diese als Lamellenregister ausgebildet, was auch in den meisten Fällen zutrifft, so haben sie eine besonders gute filternde Wirkung, so daß sich schon in kurzer Zeit größere Staubmengen an und zwischen den Rippen sammeln können. Dadurch entstehen wieder einige recht unangenehme Erscheinungen. Durch trockene Destillation des organischen Staubes, die schon bei einer Oberflächentemperatur von etwa 70° C einsetzt, entwickeln sich schädliche Schwelgase, wie Ammoniak, Sumpfgas, Schwefeldioxyd usw., die bekanntlich die Schleimhäute der Luftwege durch Feuchtigkeitsentzug empfindlich reizen und das sehr lästige Trockenheitsgefühl hervorrufen. Nicht wenig wird hierdurch die Wärmeabgabe des Heizkörpers (Register) beeinflußt, das heißt, der Wärmeübergang zwischen Luft- und Wärmeträger wird vermindert.

Die vorstehenden Ausführungen lassen erkennen, daß die Luftreinigung in erster Linie wirtschaftliche Bedeutung hat, indem der Luftfilter die Bedienungs- und Instandhaltungskosten der Anlagen verringert und ihre Lebensdauer und die der Einrichtungsgegenstände erhöht. Deshalb ist es ein Zeichen falsch verstandener Sparsamkeit, auf den Einbau des Luftfilters zu verzichten und dafür Auslagen in Kauf zu nehmen, die mit der Zeit ein Vielfaches der Anschaffungs- und Betriebskosten des Luftfilters ausmachen. Aber auch die hygienischen Erfordernisse sind mitbestimmend für die Anwendung der Luftreinigung, da als Folge der beim Fehlen des Luftfilters nicht vermeidbaren Staubansammlung in den Kanälen und an den Heizregistern Ungezieferherde, Geruchsquellen und Schwelgase entstehen können.

Die Stelle, an der der Luftfilter bei Klimaanlage eingebaut wird, ist die vor dem Luftvorwärmer. Bevor die Frischluft (Außenluft) die anderen Einzelteile einer Klimaanlage berührt, wird sie in dem Luftfilter gereinigt.

2. Beschreibung der Luftfilter.

Die ölbenetzten Filter haben in neuerer Zeit eine steigende Bedeutung erlangt, da sie in mancher Hinsicht anderen Filtern gegenüber wesentliche Vorzüge besitzen.

Bei den ölbenetzten Luftfiltern finden wir folgende verschiedene Bauarten:

1. Die Ringgutfilter.

Als Filtermittel der Ringgutfilter dienen nahtlos gezogene Ringkörper, deren Durchmesser gleich ihrer Höhe ist. Beim Füllen der Zellen, das in einer selbsttätigen Rüttelvorrichtung erfolgt, lagern sich deshalb die Ringe wahllos und dicht gegeneinander. Diese Regellosigkeit der Schichtung des Filtergutes wird durch eine besondere Formgebung der Ringe unterstützt. Die dicht gelagerten Ringkörper zwingen die den



Abb. 31. Normalfilter (eine Zelle).
Wirkungsgrad etwa 90 %.



Abb. 32. Zwei Zellen hintereinander.
Wirkungsgrad etwa 98 %.

(Werkfoto Delbag)

Filter durchströmende Luft, sich in eine große Anzahl feiner Teilströme zu zerlegen, die unter Wirbelbildung die Filterschicht durchdringen und auf die zahlreichen Innen- und Außenwandungen und Kanten der Ringe immer wieder prallen. Dadurch wird der mitgeführte Staub ausgeschleudert, er bleibt an dem dünnen Viscinol-Überzug, mit dem die Ringe bedeckt sind, haften.

Da die Luft nur einen Teil der in der Filterschicht vorhandenen Hohlräume als Strömungsweg benutzt, bleiben zahllose, im Stau- und Strömungsschalter liegende kleine Räume zur Speicherung des ausgeschiedenen Staubes. Die an den Berührungsstellen der Ringe haftenden Viscinol-Vorräte werden von dem gespeicherten Staubkapillar aufgesaugt und geben dadurch ständig neue Netzflüssigkeit an die Staubschicht ab. Nach längerer Betriebszeit, je nach dem Staubgehalt der zu filtrierenden Luft, erhöht sich der Widerstand des Filters. Der Widerstand zeigt uns an, daß der Filter verschmutzt ist; je größer die Verschmutzung, desto

größer wird auch der Widerstand, mit welchem der Filter dem Luftstrom entgegenwirkt. Der Widerstand wird am zweckmäßigsten durch einen Krellschen Widerstandsmesser gemessen.

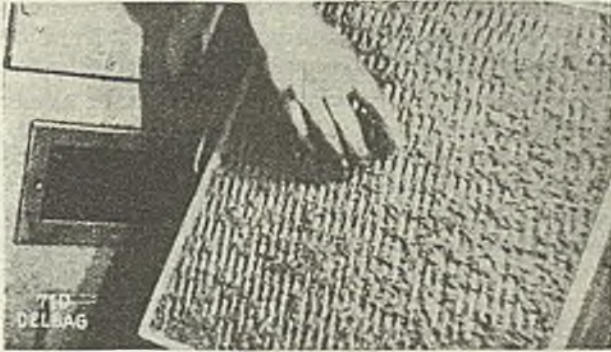


Abb. 33. Bestaubter Ringgutfilter.
(Werkfoto Delbag)

Die Reinigung und Neubenutzung der Ringgutfilter ist so einfach, daß sie von jedem ungelerten Arbeiter ausgeführt werden kann. Hierbei ist so vorzugehen, daß die Zellen einer Anlage nicht auf einmal, sondern nach und nach in einer sich aus den Betriebsverhältnissen ergebenden regelmäßigen Folge zu reinigen sind. Die zu reinigende Zelle

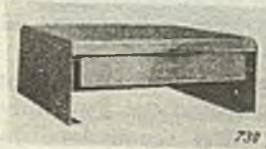


Abb. 34. Eine Zelle für Normalanlagen $\eta = 90\%$.



Abb. 35. Zwei Zellen hintereinander $\eta = \sim 98\%$.

(Werkfoto Delbag)

wird aus dem Rahmen gehoben; die dadurch entstehende Öffnung in der Filterwand ist, falls die Reinigung während des Betriebes erfolgt, durch eine von der Lieferfirma mitgelieferte Reservezelle (bei größeren Anlagen mehrere), zu schließen. Nachdem die Zelle abgeschüttelt ist, wird sie als Ganzes in einem heißen Wasserbad mit Soda oder dergleichen gewaschen und danach zum Abtropfen aufgestellt. In einem entsprechenden Tauchkasten (dieser wird von jeder Lieferfirma mitgeliefert) wird nun die Zelle wieder neu mit entsprechendem Öl benetzt.

Nach dem Abtropfen kann die Zelle wieder eingebaut werden. Auf diese Art muß Zelle um Zelle gereinigt werden. Als Netzflüssigkeit muß ein staubbindendes Öl verwendet werden, welches nicht harzt und verdunstet und außerdem säurefrei ist.

Bei Raumangel wird an Stelle der Normalbauart (stehende Zellenanordnung) die Schrägstromausführung verwendet, deren Baueinheit ebenfalls aus einem Einsatzrahmen und einer Filterzelle besteht.

Der Zusammenbau der Einsatzrahmen erfolgt in gleicher Weise wie bei der Normalausführung. Die Filtereinsätze werden von der Staubluftseite schubladenartig in den Rahmen eingeschoben. Sollen die Zellen aus baulichen Gründen von der Reingluftseite eingesetzt werden, ist eine besondere Anfertigung der Filter erforderlich, was bei der Bestellung bekanntgegeben werden muß. Die Reinigung und Neubenetzung der Zellen erfolgt hierbei genau wie bei den Normalausführungszellen.

2. Die sogenannten Labyrinthfilter.

Als Filtermittel dienen hier zwei, drei oder vier Labyrinthplatten. Von der Anzahl der verwendeten Platten ist der Entstaubungsgrad abhängig; außerdem ändern sich hierbei Staubspeicherfähigkeit und --- bei gleichem Luftwiderstand --- auch die Luftmenge, mit der die Filterzelle belastet werden kann. Jede Labyrinthplatte besteht aus mehreren gegeneinander versetzt angeordneten, rhombisch ausgeschnittenen Blechen. Diese werden durch eine mit Handgriff versehene Einfassung aus U-Eisenschienen zusammengehalten. Auch hier wird innerhalb der Platten die Luft in zahlreiche Teilströme zerlegt, die unter dauernder Ablenkung die Filterschicht durchdringen und auf die zahlreichen Metallstege und Kanten der Bleche immer wieder prallen. Dadurch wird der mitgeführte Staub ausgeschleudert; er bleibt an dem dünnen Reinigungsöl-(Viscicol)überzug, mit dem die Platten benetzt sind, haften. Bei Raumangel können auch hier Filter in Schrägstromausführung verwendet werden. Je nach dem gewünschten Entstaubungsgrad werden zwei-, drei- oder vierplattige Filter verwendet. In den meisten Fällen (für Klima- und auch Lüftungsanlagen) wird man mit dreiplattigen Filtern auskommen. Betreffs Reinigung der Zellen gilt das bei den Ringgutfiltern Gesagte. Anwendung finden diese beschriebenen Filter im wesentlichen bei kleineren Anlagen. In Klimageräte werden zum größten Teil Filter in Schrägstromausführung eingebaut, und zwar deswegen, weil diese gegenüber der Normalausführung bedeutend weniger Platz beanspruchen.

Bei größeren Anlagen, und besonders um der Vernachlässigung der Filterreinigung entgegenzutreten, empfiehlt es sich, sogenannte Bandfilter oder Umlauffilter einzubauen. Die Filterschicht besteht bei diesen aus einzelnen auswechselbaren Filterzellen aus Stahlblech, die an zwei endlosen, drehbaren Ketten angelenkt und zu einem Umlaufband zu-

sammengesetzt sind. Die Ketten laufen oben und unten über je zwei Kettenräder, die in einem Einbaurahmen gelagert sind. Der Einbau kann direkt in ein Klimagerät oder in eine entsprechende Mauerwerksöffnung (im Luftkanal) vorgenommen werden. Der Antrieb kann mit der Hand erfolgen. Es empfiehlt sich jedoch, elektromotorischen Antrieb vorzusehen. Durch eine einfache Schaltung kann bei elektrischem Antrieb die Umlaufgeschwindigkeit des Bandes geändert und dem Staubanfall angepaßt werden. Um das Band nicht dauernd in Betrieb zu halten, kann auch



Abb. 36. Labyrinthfilter normal.



Abb. 37. Labyrinthfilter, Schrägstromausführung.

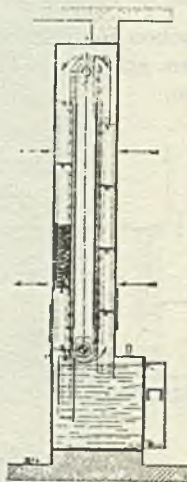


Abb. 38. Schnitt durch ein Umluftfilter mit auswechselbaren Filterzellen.

(Werkfoto Delbag)

Zeitschaltung verwendet werden, so daß je nach dem Staubanfall, nach einer gewissen Zeit das Band weitergedreht wird. Die hierbei entstehenden Stromkosten sind sehr gering.

Da für Klimaanlage, die in einem Krankenhaus eingebaut werden, bei Rückluftbetrieb die Befürchtung besteht, daß mit der Rückluft aus den Operationssälen Bakterien geführt werden, empfiehlt es sich, kein Viscinol, sondern an dessen Stelle das sogenannte „Baktericidol“ zu verwenden. In solchen Fällen ist ein „Baktericidol-Keimfilter“ vorzusehen. Es werden von verschiedenen Firmen solche Filter gebaut, die einen Reinigungswirkungsgrad bis zu 99,9% aufweisen.

Filter für jeden Zweck und in verschiedenen Ausführungsarten stehen dem Lüftungs- und Klima-Ingenieur zur Genüge zur Verfügung, so daß die Wahl dieser nicht schwer ist.

c) Der Luft-Vorerwärmer (Wärmeaustauschkörper).

Dem Luft-Vorerwärmer fällt die Aufgabe zu, die Außenluft (Frischluft) von der Außentemperatur auf Taupunkttemperatur zu bringen. Unter der Bezeichnung Taupunkttemperatur verstehen wir bekanntlich diejenige Temperatur der Luft, bei der die Luft etwa zu 100% mit Wasserdampf gesättigt sein muß, um nach der Nachwärmung die gewünschte Zuluftfeuchtigkeit zu erhalten. Die Luftvorerwärmer gehören also sozusagen zu der Taupunktregelung.

Wie schon erwähnt, kann die Luftvorerwärmung auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Im folgenden werden die zwei Möglichkeiten besprochen.

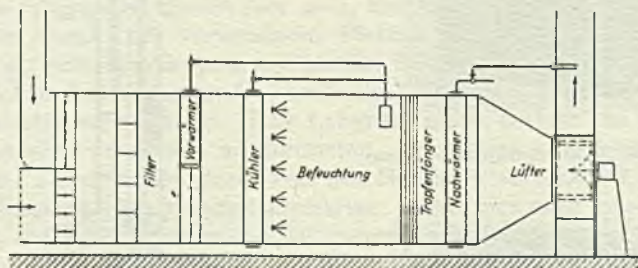


Abb. 39.
Luftvorerwärmer mit Regelung der Wärmeleistung

1. Einbau des Luftvorerwärmers in den Luftstrom.

Der Luftvorerwärmer kann, wie aus der Abbildung ersichtlich, direkt in den Luftstrom eingebaut werden.

Die diesen durchströmende Luft wird nun im Winterbetrieb auf Taupunkttemperatur z. B. $+ 15^{\circ} \text{C}$ erwärmt. Letztere ist von dem gewünschten Luftzustand abhängig. Als Heizmedium kann zur Erwärmung der Luft Dampf oder auch Warmwasser benutzt werden.

Die Luftvorerwärmer können in verschiedenen Bauformen eingebaut werden. Gut bewährt haben sich die schmiedeeisernen Lamellenregister. Auch glatte Rohre können hierzu verwendet werden, doch sind diese, bezogen auf die Heizfläche, teurer als Lamellenrohre. Meines Erachtens haben sich die schmiedeeisernen Lamellenheizregister durchgesetzt.

Die Berechnung der Heizflächen stützt sich auf empirische Formeln und Versuchsergebnisse und braucht, da diese von der Lieferfirma für die gewünschte Wärmeleistung unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Heizmittels berechnet und konstruiert werden, nicht näher erläutert zu werden. Die Größe der Heizfläche hängt im wesentlichen vom Heizmedium, von dem Temperaturunterschied zwischen wärmeabgebendem und wärmeaufnehmendem Mittel und den Strömungsgeschwindigkeiten beider Mittel ab.

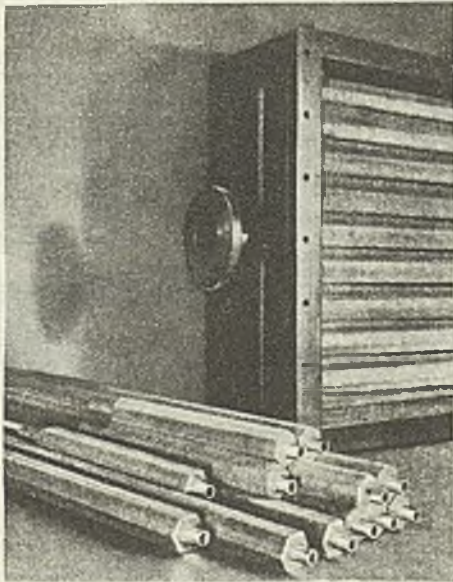


Abb. 40. Lamellen-Heizregister.
(Werkfoto Junkers)

2. Einbau einer Heizschlange in den Düsenwasserbehälter.

Eine entsprechende Vorerwärmung des Düsenwassers kann den Luftvorerwärmer erübrigen (siehe hierzu Abbildung 41). Dem Düsenwasser muß genau soviel Wärme zugeführt werden wie der Luftvorerwärmer beanspruchen würde, das heißt, dem Düsenwasser muß die Luft soviel Wärme entnehmen können, so daß diese nach der Befeuchtung eine Temperatur, die der Taupunkttemperatur entspricht, aufweist. Diese Art Vorerwärmung der Luft ist jedoch bei größeren Anlagen nicht zu empfehlen, weil die Heizschlangen hierbei zu groß werden, so daß diese u. U. nicht eingebaut werden können. Außerdem sind diese Heizschlangen in der Anschaffung teurer als die Lamellenheizregister.

In den meisten Fällen verwendet man die Heizschlangen, weil man den zum Einbau eines Lamellenheizregisters erforderlichen Raum einsparen will, damit das ganze Klimagerät möglichst kleine Abmessungen erhält.

Die Heizschlangen können aus schmiedeeisernen glatten Rohren oder aus Rippenrohren hergestellt werden. Im wesentlichen werden als Heizmedium Dampf oder Warmwasser verwendet.

Die Berechnung der Heizschlange (Heizfläche) erfolgt nach der einfachen Gleichung:

$$Q = F \cdot k \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{in kcal/h.} \quad (49)$$

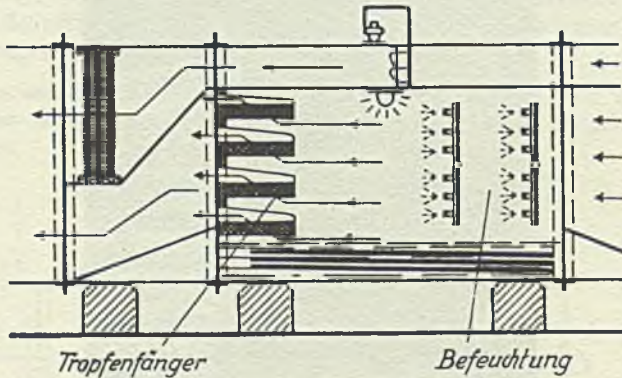


Abb. 41. Heizschlange im Düsenwasserbehälter.

Hieraus errechnet sich die Heizfläche F :

$$F = \frac{Q}{k (t_2 - t_1)} \quad \text{in m}^2. \quad (50)$$

Da die erforderliche Wärmemenge und das umzuwälzende Düsenwasser bekannt sind (die Wärmemenge ergibt sich aus der Heizlastberechnung und das Düsenwasser bei der Feuchtigkeitsberechnung), kann die Erwärmungstemperatur t_2 berechnet werden; t_1 bedeutet die Anfangstemperatur des zu erwärmenden Düsenwassers.

$$t_2 = \frac{Q \text{ (Wärmemenge)}}{W_B \text{ (umzuwälz. Wassermenge)}} + t_1 \quad \text{in } ^\circ\text{C.} \quad (51)$$

Die erforderliche Gesamtlänge L (in ausgestreckter Form) der Rohrschlange ergibt sich nun zu:

$$L = \frac{F}{f} \quad \text{in lfdm.} \quad (52)$$

Hierin bedeuten:

F = errechnete Heizfläche in m^2 ,

f = Oberfläche je laufenden Meter Rohrs in m^2 (je nach Wahl).

d) Der Luftkühler.

Die Luftkühlung ist, wie schon dargelegt, erforderlich, um in den heißen Jahreszeiten die Raumluft unter der Temperatur der Außenluft abzukühlen. Hierzu stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung.

1. Die trockenen Luftkühler.

Die trockenen Luftkühler sind Wärmeaustauscher, die aus Lamellen zusammgebaut sind. (Siehe hierzu auch unter Luftvorerwärmer, Unter- teilung a.) Als Kühlmittel wird in den meisten Fällen Wasser aus dem städtischen Leitungsnetz oder aus eigener Quelle (Tiefbrunnen- wasser) verwendet. Die Wassertemperatur darf dabei im Höchsthalle nicht höher als $13^{\circ}C$ sein, und besonders dann nicht, wenn man eine

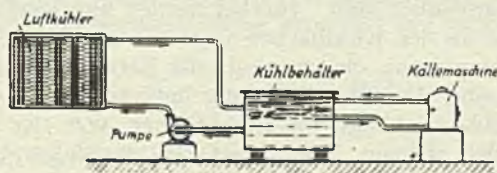


Abb. 42. Luftkühler, der durch gekühltes Wasser gespeist wird.

relative Feuchtigkeit von 60% erreichen und einhalten will. Um eine niedrigere relative Feuchtigkeit zu erhalten, muß die Kühlwassertemperatur auch entsprechend tiefer sein. Steht nun kein Wasser mit der erforderlichen tiefen Temperatur zur Verfügung, so ist es zweckmäßig, dieses im Kreislauf bewegte Wasser mit Hilfe einer Kältemaschine zu kühlen. In den meisten Fällen wird so verfahren, daß das Leitungs- oder Quellwasser in einem Kühlbehälter durch die Kältemaschine auf eine Temperatur nahe $1^{\circ}C$ abgekühlt wird. Durch eine in den Kreislauf eingebaute Kreiselpumpe wird nun das gekühlte Wasser durch den Wärmeaustauscher (Lamellenrohrkühler) gedrückt. Eine noch größere Kühlwirkung wird erreicht, wenn man an Stelle des gekühlten Wassers, die Kältesole selbst durch den Wärmeaustauscher drückt.

Es kann jedoch betont werden, daß die Grundwasserbrunnen im deutschen Klima meist Wasser von einer annähernd beständigen Temperatur, die zwischen 10 und $12^{\circ}C$ liegt, führen. Für alle Raumluftzustände, deren Taupunkttemperatur $13^{\circ}C$ und mehr beträgt, kann also Grundwasser aus solchen Brunnen mit Vorteil verwendet werden.

Steht nur Wasserleitungswasser aus allgemeinen Betriebsnetzen zur Verfügung, so wird die Temperatur meist höher (bei 14 bis 16° C) liegen, so daß eine Kühlung der Luft auf ungefähr 16,7° C entsprechend einem Raumluftzustand von z. B. 25° C und 60% relativer Feuchtigkeit möglich ist. In allen anderen Fällen, bei denen der Taupunkt tiefer liegt, muß ein Kältemittel, also eine Kältemaschine herangezogen werden. Dies trifft insbesondere auch für Feinmeß- und Prüfräume zu, in denen der Luftzustand 20° C und 50% relative Feuchtigkeit entsprechend einem Taupunkt von 9,5° C hergestellt und aufrechterhalten werden muß.

Die Verwendung von Rippenrohrkühlern oder auch Lamellenkühlern zur Kühlung der Luft bringt folgenden Vorteil mit sich.

Wird die Luft durch solche Kühlkörper geleitet, wird ihr einerseits Wärme entzogen, das heißt, die Luft wird gekühlt. Andererseits ergibt sich jedoch die überraschende Tatsache, worauf auch Karl R. Rybka hinweist, daß sich hierbei an den Kühlflächen Feuchtigkeit niederschlägt, und zwar bevor die Luft überhaupt die Sättigungstemperatur erreicht hat. Dies läßt sich darauf zurückführen, daß beim Durchströmen der Luft an den Kühlflächen Stauungen und Wirbel entstehen und Stromschichten unvermeidlich sind. Hierbei werden nun gewisse Luftfasern, die unmittelbar an den Kühlflächen liegen, stärker abgekühlt und erreichen eine Temperatur, die unterhalb der Sättigungstemperatur liegt, was natürlich eine Wasserausscheidung hervorruft. Die Größe dieses Wasserniederschlags hängt im wesentlichen von der Bauform der Kühlflächen ab. Diesen Vorteil hat die nachfolgend beschriebene Verdunstungskühlung nicht.

Bei Verwendung der Rippenrohrkühler oder ähnlicher kann, unter Berücksichtigung dieser Betrachtungen, von einer Unterkühlung und Nacherwärmung der Luft abgesehen werden.

Zur Berechnung der Kühler gilt das bei den Luftvorerwärmern Gesagte, denn auch hier wird die Lieferfirma ihrer Erfahrung und den gemachten Angaben entsprechend berechnen und konstruieren.

2. Die Verdunstungskühlung (Naßkühlung).

In letzter Zeit bedient man sich zur Kühlung der Luft auch der sogenannten Verdunstungskühlung. Diese kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen, und zwar einmal, indem man die zu kühlende Luft durch den Wascher führt, in dem durch Düsen kühles Wasser zu Nebel zerstäubt wird, und zum anderen, indem man die Luft durch eine Ringschicht drückt oder saugt, die mit kühlem Wasser berieselt wird. In beiden Fällen wird der Luft Wärme entzogen. Im Winterbetrieb können diese Verdunstungskühler, wenn man das Düsen- oder Berieselungswasser entsprechend vorwärmt, auch als Luftbefeuchter benutzt werden. Bei Anbringung eines Luftvorerwärmers erübrigt sich die Wassererwärmung. Bei Verwendung dieser Verdunstungskühler im

Sommerbetrieb, also zur Kühlung der Luft, muß jedoch auch darauf geachtet werden, daß die Luft die gewünschte relative Feuchtigkeit erhält, das heißt, daß die Luft auch entsprechend getrocknet wird. Der Luft kann mittels Kühlung nur dann Feuchtigkeit entzogen werden, wenn sie gesättigt, also auf die Sättigungstemperatur abgekühlt worden ist. Das bedingt Kühlwassertemperaturen, welche wesentlich unter dem Taupunkt der Luft liegen. Da es nun nicht möglich ist, aus ungesättigter Luft Feuchtigkeit zu entziehen, muß die Lufttemperatur zuerst auf Taupunkttemperatur abgekühlt werden. Erst jetzt kann durch entsprechende Unterkühlung der Luft Feuchtigkeit entzogen werden. Um nun den gewünschten Endzustand der Zuluft zu erhalten, muß die Luft nachgewärmt werden. In einzelnen Fällen wird es möglich sein, die Nachwärmung durch angemessene Umluft oder Außenluftbeimischung umgehen zu können, dies besonders bei hoher Außentemperatur (im Sommer).

Bei richtiger Anwendung von Trockenkühlern kann dieser Nachteil beseitigt werden, was jedoch bei der Verwendung der Verdunstungskühlung nicht erreicht wird.

Die erforderliche Wassermenge W_k zur Kühlung der Luft bei ersterer Kühlungsart, also Wasserzerstäubung, errechnet sich nach der Gleichung

$$W_k = \frac{V (i_2 - i_1)}{\Delta t} \quad \text{in ltr/h.} \quad (53)$$

Hierin bedeuten W_k = Kühlwassermenge,

V = Luftmenge in kg,

i_2 = Wärmehalt der eintretenden Luft in kcal/kg,

i_1 = Wärmehalt der austretenden Luft in kcal/kg,

Δt = Temperaturdifferenz des Kühlwassers in °C.

Auf die Berechnung der Ringgutkühler (Oberflächenkühler) wird an Hand eines Beispielen eingegangen. Es sollen 82000 cbm Luft von einem Anfangszustand $t = 30^\circ\text{C}$ und $\varphi = 40\%$ relativer Feuchtigkeit auf $t = 14^\circ\text{C}$ $\varphi = 100\%$ relativer Feuchtigkeit gekühlt werden. Zur Kühlung steht Wasser mit einer Temperatur $t_A = 12^\circ\text{C}$ zur Verfügung.

Der Berechnung wird das t - x -Diagramm zugrunde gelegt. Zunächst muß einmal die Luftmenge in kg umgerechnet werden. Der Umrechnungsfaktor von 30° , 40% relativer Feuchtigkeit beträgt 0,886, so daß sich also ein spezifisches Gewicht von

$$\gamma = 1,293 \cdot 0,885 = 1,15 \text{ kg/m}^3$$

ergibt. Damit wird das Luftgewicht

$$G = 82000 \cdot 1,15 = 94200 \text{ kg/h.}$$

Der Wärmeinhalt der eintretenden Luft ist

$$i_{30^{\circ}; 40\%} = 13,5 \text{ kcal/kg,}$$

derjenige der austretenden Luft

$$i_{14^{\circ}; 100\%} = 9,5 \text{ kcal/kg.}$$

Damit ergibt sich die abzuführende Wärmemenge zu

$$Q_k = 94200 (13,5 - 9,5) = 378000 \text{ kcal/h.}$$

Nehmen wir die Kühlwasser-Austrittstemperatur zu $18,3^{\circ}\text{C}$ an, dann ergibt sich Δt zu $18,30 - 12,00$ und die Kühlwassermenge W_k zu

$$W_k = \frac{378000}{6,3} = 60000 \text{ ltr/h.}$$

Aus diesem Beispiel ist ersichtlich, daß die Luft nun nach der Unterkühlung wieder erwärmt werden muß, um einen angenommenen Zustand von $t = 21^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 60\%$ relativer Feuchtigkeit zu erhalten. Auf die Berechnung der erforderlichen Ringgutmenge soll hier nicht näher eingegangen werden, da die Lieferfirmen diese nach den gemachten Angaben bestimmen. Im wesentlichen hängt die Berechnung von der zulässigen Luftgeschwindigkeit, von der Oberfläche je cbm Ringgut und von dem Benetzungsgrad dieser ab.

e) Die Befeuchtungsanlage.

Im Winter muß, neben der Erwärmung, die Luft auch befeuchtet werden, und zwar je nach der gewünschten Raumluftfeuchtigkeit. Vorwiegend werden hierzu Düsensysteme verwendet. Die Befeuchtungsanlage, des öfteren auch Luftwäscher genannt, erfüllt hierbei verschiedene sehr erwünschte Zwecke. Außer dem Befeuchten der Luft reinigen sie diese auch noch und können darüber hinaus zur Luftkühlung im Sommer verwendet werden. (Siehe Verdunstungskühlung.) Außerdem sind die Betriebs- und Unterhaltungskosten dieser Luftwäscher außerordentlich gering. Es ist jedoch zu betonen, daß — da die Luftwäscher die Luft auch noch reinigen — die Luftfilter meines Erachtens nicht einfach weggelassen werden können, denn fettige Staubteilchen werden infolge ihrer grenzflächenaktiven Kräfte nicht vom Wasser benetzt und ausgeschieden, außerdem beträgt die Reinigungswirkung der Wäscher nur etwa 50% . Andererseits wird das Wasser, wenn keine Luftfilter eingebaut sind, sehr bald infolge der stetigen Staubaufnahme verschmutzen, so daß es unter Umständen recht bald abgelassen werden muß. Wenn dann der Verschmutzung des Wassers keine Beach-

tung geschenkt wird, ergeben sich recht bald unhygienische Zustände. Das gleiche gilt auch für die Ringgutoberflächenbefeuchter. Gerade hier wird sich der Staub besonders stark bei geringer Luftgeschwindigkeit im Ringgut festsetzen, so daß diese in verhältnismäßig kurzer Zeit gereinigt werden müssen. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Einbau von Luft-Filtern manche unvorhergesehenen Unannehmlichkeiten und Störungsquellen beseitigt. In neuerer Zeit hat man diese Nachteile eingesehen, und es werden zwecks Luftreinigung deshalb Luftfilter vorgezogen oder mit eingebaut.

Bei dem Düsensystem — wie auch beim Ringgutoberflächenbefeuchter — wird das Befeuchtungswasser mittels einer Kreiselpumpe den Düsen zgedrückt. Der Fließdruck beträgt hierbei etwa 2–4 atü. Das von der Luft nicht aufgenommene Wasser fließt nun in ein Düsenwasser-Sammelgefäß und wird von hier aus durch die Umwälzpumpe

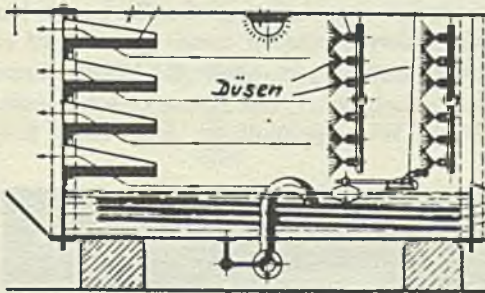


Abb. 43. Befeuchtungsanlage (Düsensystem).

ausgesaugt und wieder den Düsen zugeführt. Zur Ergänzung des fehlenden Wassers wird meist ein Schwimmventil in die Wasserleitung eingebaut, welches diejenige Wassermenge nachspeist, die von der Luft aufgenommen worden ist. Steht nun Wasser mit einer zu hohen Temperatur zur Verfügung, dann muß dies gekühlt werden. Ein Einbau einer Kühlschlange in das Düsenwasser-Sammelgefäß, die von der Kältesole durchflossen wird, erfüllt den Zweck. Im Winterbetrieb jedoch muß, wenn kein Luft-Vorerwärmer vorgesehen ist, auch eine Heizschlange in das Düsenwasser-Sammelgefäß eingebaut werden. Zu welchem Zweck diese Heizschlange dann eingebaut werden muß, ist bei der Beschreibung der „Luftvorerwärmer“ erläutert.

Die erforderliche Anzahl Düsen ergibt sich aus der Division der Wasserleistung einer Düse durch die umzuwälzende Gesamtwassermenge. Die Wasserleistung einer Düse ist hauptsächlich von deren Konstruktion und von dem Fließdruck, den die Umwälzpumpe erzeugt, abhängig. Um eine gute Befeuchtung der Luft zu erzielen, empfiehlt es sich, die Luftgeschwindigkeit in der Befeuchtungskammer

nicht höher als 2 bis 3 m/s zu wählen und außerdem ist ein möglichst langer Befeuchtungsweg empfehlenswert. Die Wasserzerstäubung soll

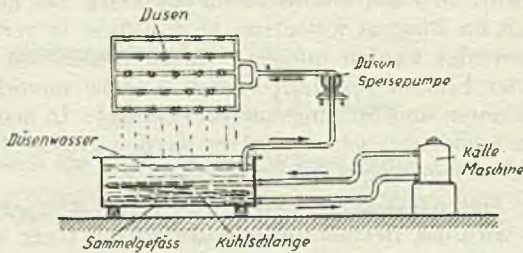


Abb. 44. Kühlung des Düsenpeisewassers durch eine Kältemaschine.

nicht gegen, sondern mit dem Luftstrom erfolgen, da bei Zerstäubung gegen den Luftstrom sich ein ziemlich großer Widerstand ergibt, welcher bekanntlich vermieden werden soll.

Außer einfachen Düsen, aus denen das Wasser aus einer kleinen Öffnung tritt und zerstäubt wird, sind Düsen verschiedenster Arten noch erhältlich, so z. B. die Wirbelstromdüsen, Streudüsen u. a. m. Bei der

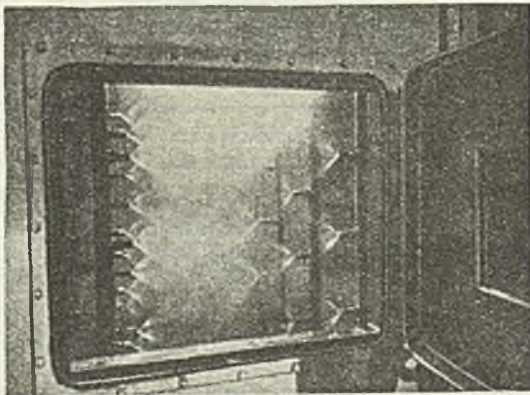


Abb. 45. Wasserzerstäubungsdüsen im Betriebszustand.

Wahl der Düsen muß insbesondere auf die Verstopfungsgefahr geachtet werden, und es empfiehlt sich, Düsen mit eingebautem Reinigungssieb zu verwenden. Besonders groß wird die Verstopfungsgefahr, wenn an Stelle des Luftfilters der Wäscher auch noch die Reinigung der Luft übernehmen soll. Auf diesen Nachteil ist schon hingewiesen worden.

f) Der Tropfenfänger.

Der Tropfenfänger ist ein unentbehrlicher Bestandteil der Befeuchtungsanlage (Wäscher). Diesem fällt die Aufgabe zu, das von dem Luftstrom mitgerissene Wasser (in Tropfenform) abzufangen und auszuschcheiden.

Der in Abbildung 46 gezeichnete Tropfenfänger findet insbesondere dann Verwendung, wenn die Befeuchtungsanlage aus einem Düsensystem besteht, kann aber auch bei Oberflächen-Befeuchtungsanlagen Verwendung finden. Bei letzterer Befeuchtungsart verwendet man des öfteren als Tropfenfänger auch eine sogenannte „Tropfenfangschicht“, die auch aus Ringgut bestehen kann. Die Tropfenfänger beider Art müssen mit einer hohen Korrosionsfestigkeit versehen werden. Gewöhnlich werden die aus Eisenblech hergestellten Tropfenfänger feuerverzinkt. Die Bemessung dieser ist reine Erfahrungssache und kann nicht berechnet werden. Allgemein gilt die empirische Formel:



Abb. 46.
Normaler
Tropfenfänger.

$$F = \frac{V}{1220} \text{ in m}^2. \quad (54)$$

Hierin bedeuten:

F = Prallfläche in m^2 ,

V = Luftmenge in m^3/h ,

1220 = Erfahrungszahl.

Zum Beispiel:

Für eine stündliche Luftmenge von 10000 m^3 ergibt sich die erforderliche Tropfenfänger-Prallfläche zu

$$F = \frac{10000}{1220} = 8,2 \text{ m}^2.$$

Die Gültigkeit dieser empirischen Formel beschränkt sich jedoch nur auf die in Abb. 46 gezeichnete Bauform von Tropfenfängern. Für andere Bauformen gibt die Lieferfirma entsprechende Auskunft.

g) Der Luft-Nachwärmer.

Wie bereits im Abschnitt „Taupunktregelung“ dargelegt, ist die Luft bei der Taupunkttemperatur voll gesättigt. Um nun den endgültigen Zuluftzustand herzustellen, muß die Luft nacherwärmt werden, wobei sich der gewünschte niedrigere relative Luftfeuchtigkeitsgehalt

einstellt. Für diese Nacherwärmung der Luft stehen uns verschiedene Mittel zur Verfügung, nämlich die Nacherwärmung durch einen mit einem geeigneten Heizmittel, wie Dampf oder Warmwasser, gespeisten Luft-Nacherwärmer oder durch Zumischen von Umluft. Letztere kann von der Rückluftkammer aus durch einen entsprechenden Kanal der Umluftkammer, welche sich hinter dem Tropfenfänger befindet, zugeführt werden. Im Sommer könnte auch an Stelle der Umluft Außenluft verwendet werden, da diese bekanntlich im Sommer einen großen Wärmeinhalt aufweist. In den meisten Fällen wird man, um die zur Speisung der Lufterwärmer erforderlichen Heizkessel nicht frühzeitig in Betrieb nehmen zu müssen, der Frischluft, abgesehen von der schon vor dem Klimagerät stattgefundenen Rückluftbeimischung, Umluft beimischen. (Siehe hierzu Abb. 26.) Welches von diesen Mitteln allein oder in Verbindung des einen mit dem anderen verwendet wird, entscheidet die Sonderheit einer jeden Klimaanlage.

Die Luft-Nacherwärmer können nun in Form von Rippenrohr- oder Lamellen-Heizkörpern hergestellt werden. Wie bei den Luft-Vorwärmern haben sich auch hier die Nacherwärmer, bestehend aus Lamellen, bestens bewährt. Die Lamellen werden auch hier in einem kräftigen Profileisenrahmen zu einem Heizregister vereinigt. Diese erhalten oben einen gemeinsamen Heizmittelanschluß und unten einen Heizmittelausgang, oder bei Verwendung von Dampf einen Kondensatabgangsstutzen. Dieses Heizregister kann nun in das Klimagehäuse oder bei gemauerten Klimaanlageanlagen in die hierfür vorgesehene Maueröffnung eingebaut werden. Der Einbau muß so erfolgen, daß später auch die Luft-Nacherhitzer sowie auch alle anderen Bestandteile einer Klimaanlage gut zugänglich sind.

Was die Berechnung der Luft-Nacherhitzer anbelangt, gilt das bei dem Lamellen-Luftvorwärmer Gesagte.

h) Rückluft- und Umluftmischkammern.

In den Lüftungsregeln¹⁸⁾ finden wir für die heute vielfach üblichen Benennungen wie Frischluft, Abluft, Umluft, Rückluft, Zusatzluft, Mischluft u. a. eine Abbildung mit Bezeichnungen der Luft auf dem Wege durch eine Lüftungsanlage, die, um Irrtümer zu vermeiden, zur einheitlichen Verwendung empfohlen wird. Zum grössten Teil finden diese Bezeichnungen auch bei den Klimaanlageanlagen Verwendung.

Jedoch bedarf es noch einer Erklärung, was wir unter den Bezeichnungen Rückluft und Umluft bei Klimaanlageanlagen verstehen. In den Lüftungsregeln, kurz „Regeln“ genannt, fehlt jedoch die Bezeichnung Rückluft, und die Bezeichnung Umluft ist für Klimaanlageanlagen nicht eindeutig festgelegt, so daß dies hierbei leicht zu Irrtümern führen kann. Für gewöhnliche Lüftungsanlagen sind jedoch in den Regeln die Bezeichnungen eindeutig festgelegt, was Abbildung 47 bestätigt.

In der Abb. 48 werden nun für Klimaanlage die Bezeichnungen Rückluft und Umluft eindeutig festgelegt.

Wörtlich verstehen wir unter der Bezeichnung „Rückluft“ diejenige Luftmenge, welche dem zu klimatisierenden Raum entnommen und dann am Anfang des Klimagerätes, also vor dem Luftfilter, in der

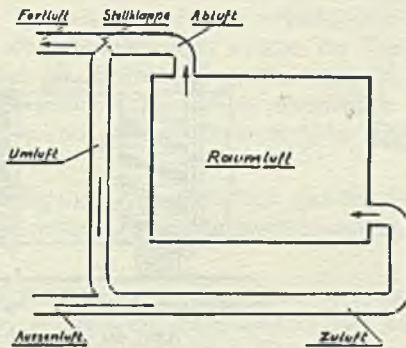


Abb. 47. Bezeichnung der Luft auf dem Wege durch die Lüftungsanlage.

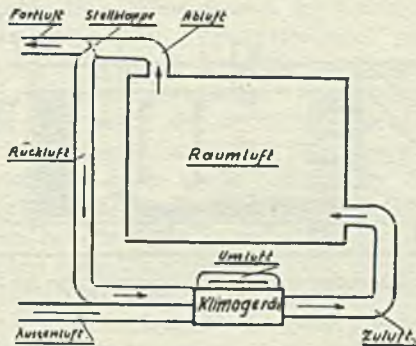


Abb. 48. Bezeichnung der Luft auf dem Wege durch die Klimaanlage.

„Rückluftkammer“ mit der Frischluft gemischt wird. Rückluft wird also mit der Frischluft gemischt und dem ganzen Luftveredelungsprozeß unterzogen.

Unter der Bezeichnung Umluft verstehen wir diejenige Luftmenge, welche dem zu klimatisierenden Raum entnommen und, ohne den Veredelungsprozeß zu berühren, in der Umluftkammer, welche hinter dem Tropfenfänger, also vor dem Luftnacherwärmer angeordnet ist, dem Frischluft-Rückluftgemisch oder der Frischluft allein zugemischt wird. Abb. 50 zeigt eine eingebaute Umluftkammer, wobei die Umluft direkt

aus dem Hauptrückluftkanal, also außerhalb des Gerätes, entnommen wird. Eine Umluftansaugung aus der Rückluftkammer zeigt Abb. 51, wobei der Umluftkanal innerhalb des Klimagerätes angeordnet ist. Welche der beiden Umluftansaugungsarten nun verwendet wird, hängt im wesentlichen von der Besonderheit jeder einzelnen Klimaanlage ab.

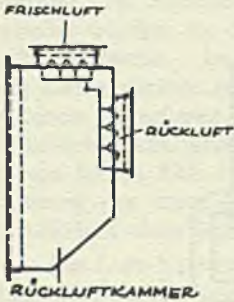


Abb. 49.
Rückluftkammer.

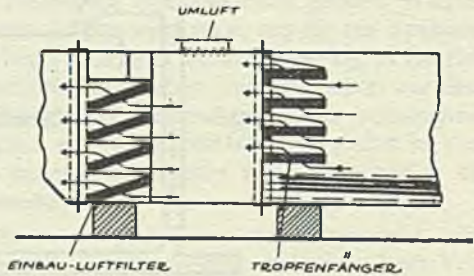


Abb. 50. Umluftkammer
mit direkter Umluftansaugung.

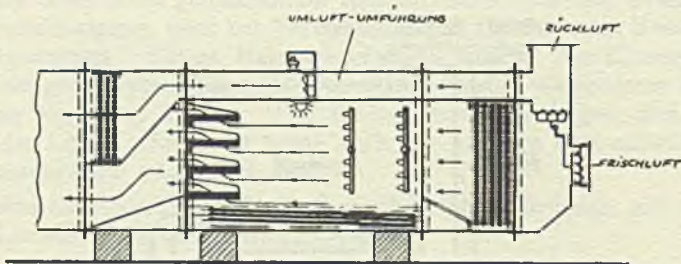


Abb. 51. Umluftkammer mit Umluftansaugung aus der Rückluftkammer.

Rückluft wird bei den meisten Klimaanlage verwendet, und zwar beträgt der Anteil der Rückluft von der Gesamtluftmenge etwa 50 bis 75%. Zur Deckung der restlichen Luftmenge, etwa 25 bis 50%, wird Außenluft verwendet. Einerseits wird im Winter dadurch eine größere Wärmemenge, da der Wärmehalt der Rückluft gegenüber der Außenluft bedeutend größer ist, je nach der Rückluftmenge eingespart. Da die Rückluft, wie schon erläutert, dem ganzen Luftveredlungsprozess unterzogen und außerdem noch mit Frischluft gemischt wird, verläßt diese Luft auch in einwandfreiem Zustand das Gerät, so daß man betr. des hygienischen Zustandes der Luft keine Bedenken zu haben braucht. Es empfiehlt sich jedoch, in jedem Falle mindestens 25% Außenluft zu verwenden. Wird jedoch die Raumluft sehr stark verunreinigt

zum Beispiel auch durch Dämpfe chemischer Medien, ist es zweckmäßig, entsprechend die Rückluftmenge, die dann der Frischluft beigemischt wird, zu ermäßigen, d. h. es muß mehr Frischluft verwendet werden. Andererseits können durch Beimischung von Rückluft zu der Frischluft auch die Kühlleistungen im Sommerbetrieb erheblich vermindert werden. Bei der hohen relativen Feuchtigkeit, die die Außenluft im Sommer aufweist, wird die erforderliche Kühlleistung zur Trocknung der Luft gegenüber der, welche zur Temperaturabsenkung letzterer erforderlich ist, bedeutend größer sein, da die Luft, um eine Feuchtigkeitsausscheidung zu erreichen, unterkühlt werden muß. Bei Verwendung von Rückluft kann die erforderliche Kühlleistung erheblich verringert werden.

Aus diesen Darlegungen ist ersichtlich, daß bei der Verwendung von Rückluft die Klimaanlage sehr wärmeökonomisch betrieben werden können.

Umluft wird seltener verwendet, und zwar weil diese Luftmenge nicht veredelt wird, sondern der Frischluft in dem Zustand beigemischt wird, wie sie dem zu klimatisierenden Raum entnommen wird. Wird z. B. die Luft dem Raum, wie in vielen Fällen, etwa 10 bis 20 cm über dem Fußboden entnommen, dann ist infolge des staubigen Fußbodens die Luft sehr staubhaltig. Wenn jedoch der Luftfilter vor dem Luft-Nacherwärmer statt vor dem Luftvorerwärmer eingebaut wird, so daß die Umluft auch noch durch den Filter gereinigt wird, dann kann man ohne Bedenken Umluft verwenden. Eine entsprechende Umluftbeimischung kann man auch als sogenannte „Zulufttemperatur-Feinregelung“ bezeichnen. Durch eine (von einem Temperaturfühler gesteuerte) Umluftklappe kann soviel Umluft der Zuluft beigemischt werden, daß die Zuluft stets die gewünschte Temperatur hat. Besonders bei solchen Anlagen, bei denen die Raumluft-Temperatur möglichst konstant sein muß, kann diese Umluftbeimischung von großem Vorteil sein. Es empfiehlt sich jedoch bei Anwendung dieser Umluftbeimischung darauf zu achten, daß die Umluft auch durch den Filter gereinigt wird. Andernfalls wird der Luft-Nacherwärmer infolge des Staubgehaltes der Umluft mit einer Staubschicht überdeckt, die dann auch stetig zunimmt und die Wirkung des Wärmeaustausches erheblich vermindert.

In welchen Fällen nun Umluft oder Rückluft oder auch beide mit Außenluft im Klimagerät gemischt werden sollen, kann nicht ohne weiteres allgemeingültig gesagt werden. Es kann jedoch betont werden, daß die Wahl Umluft- oder Rückluftbetrieb im wesentlichen von der Verunreinigungsart der Raumluft abhängt. So wird man aus einem chemischen Laboratorium kaum Umluft oder Rückluft entnehmen; in diesem Fall wird mit 100% Außenluft (Frischluft) gearbeitet, andererseits kann man ohne Bedenken Umluft oder Rückluft aus Büroräumen, Schulräumen, Versammlungsräumen, Theatern, Kinos, Kasinos,

Gaststätten, Meß- und Prüfräumen und auch teilweise aus Arbeits- und Lagerräumen verwenden. Umluft oder Rückluft ist nur bei aller Vorsicht aus Operationsräumen zu entnehmen, denn hierbei besteht die Gefahr, daß Bakterien in andere Räume geführt werden. In diesem Falle müßte ein Spezial-Luftfilter, ein sogenannter „Baktericidol-Filter“, zur Reinigung der Luft vorgesehen werden.

V. Abschnitt.

Klima-Anlagen verschiedener Ausführungen.

Klima-Geräte.

Es wäre nun verfehlt, die Beschreibung von Klimaanlagen zum Abschluß zu bringen, ohne deren verschiedene Ausführungsmöglichkeiten zu erläutern. Im folgenden werden nun durch Abbildungen die verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten und komplette, ausgeführte Klimaanlagen gezeigt. Nebenbei sei jedoch betont, daß es noch viele andere Ausführungsmöglichkeiten gibt, die mehr oder weniger von der Eigenart des zu klimatisierenden Gebäudes abhängen. Die Bauform eines Klimagerätes wird im wesentlichen durch den zur Verfügung stehenden Einbauraum beeinflusst, so muß notgedrungen, wenn wenig Bodenfläche, aber Raumhöhe zur Verfügung steht, ein stehendes Klimagerät gewählt werden. Abb. 52 zeigt ein vollautomatisches Klimagerät, im Schnitt und in der Ansicht. Aus der Schnittzeichnung ist ersichtlich, daß an Stelle des Luft-Vorerwärmers zur Erwärmung des Düsen Speisewassers eine Heizschlange (15) in das Wasser-sammelgefäß eingebaut ist. Die Heizleistung wird durch ein in die Heizleitung (Vorlauf) eingebautes Membranventil reguliert. Das Membranventil wird durch einen Temperaturfühler, welcher in der Befeuchtungskammer (Wascher) eingebaut ist, gesteuert. An Stelle des Luftfilters ist zur Reinigung der Luft der Wascher vorgesehen. Bei Verzicht auf den Luftfilter wird natürlich das Klimagerät eine geringere Baulänge aufweisen, d. h. wenn nur wenig Raumlänge zur Verfügung steht, kann ein solches Gerät von Vorteil sein, so daß es gerade noch eingebaut werden kann. Da jedoch die Wascher nur einen Wirkungsgrad von etwa 50% haben, d. h. nur etwa die Hälfte des Staubes aus der Luft ausscheiden, empfiehlt es sich, wenn möglich, Luftfilter einzubauen. Unter Umständen läßt sich der Luftfilter kurz hinter der Frischluftentnahmestelle anbringen, so daß wenigstens die Frischluft gereinigt wird. Auf der rechten Seite der Abbildung ersehen wir die Rückluft-Kammer in zwei verschiedenen Ausführungsarten. Die eine Rückluft-Kammer ist für Frischluft und Rückluft, und die andere für Frischluft. Rückluft und Fortluft ausgebildet.

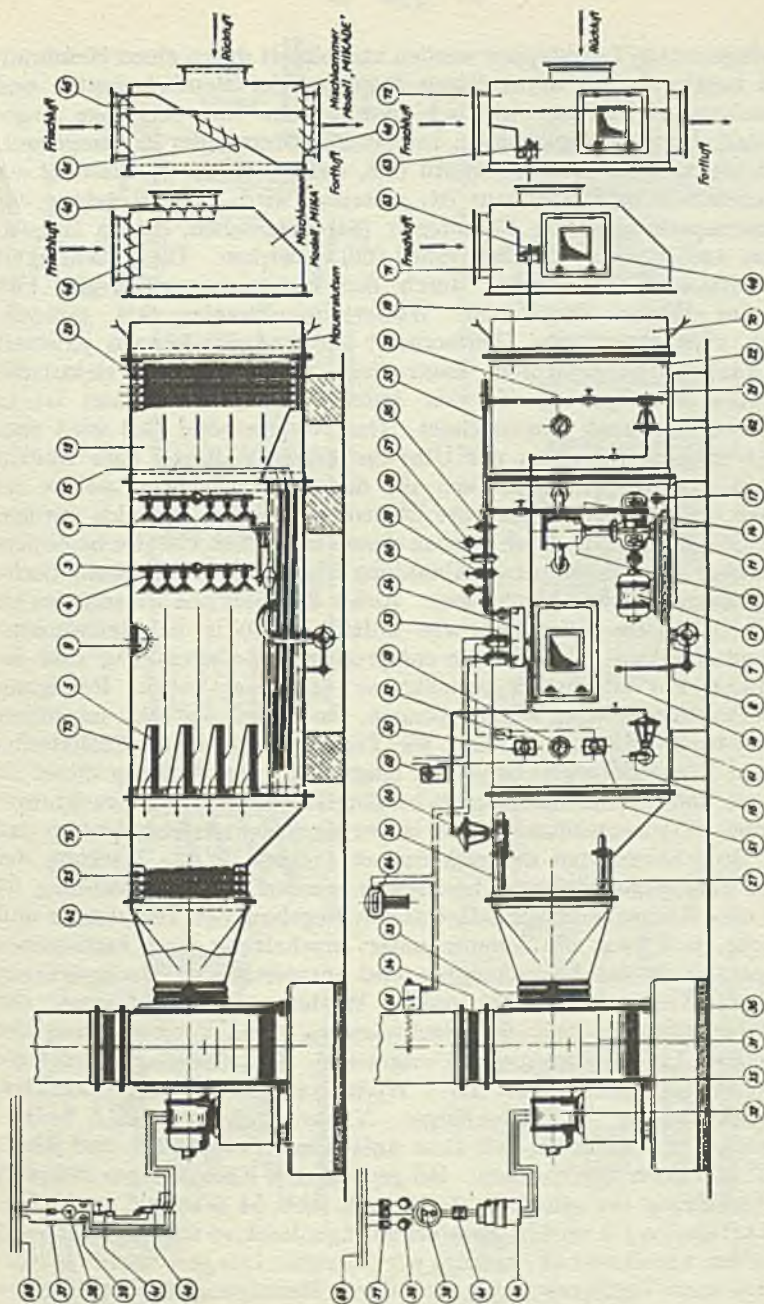


Abb. 52. Vollautomatisches Klimagerät (siehe auch Abb. 26).

Die eingebauten Luftklappen werden kombiniert durch einen Membranhebel betätigt. Zur selbsttätigen Regelung der Membranventile und Membranhebel ist eine elektrisch hydrantische Regulieranlage eingezeichnet. Im Zuluftkanal ist ein Temperatur-Grenzregler (65) eingebaut, durch welchen das Membranventil (66), welches in der Heizleitung des Luftnacherwärmers eingebaut ist, gesteuert wird. Zur Regelung der Raumtemperatur ist ein Raumregler (64) vorgesehen, dessen Impulsströme auch auf das Membranventil (66) einwirken. Die Feuchtigkeit der Luft wird im Sommer durch den Sommertaupunktregler (50) und im Winter durch den Wintertaupunktregler (51) geregelt. Durch zwei eingebaute Thermometer (18 und 23) können jederzeit die Taupunkttemperaturen kontrolliert werden. Der elektrische Anschluß mit Zubehör für den Antrieb des Elektromotors ist in der Abbildung auch eingezeichnet. Das Amperemeter (38) wird man in den meisten Fällen in der Überwachungs-Schalttafel zum Einbau bringen. Das gleiche gilt auch für die Kontrolleuchten, welche im Betrieb leuchten, bei Ausfall des Elektromotors aber stromlos werden. Diese Störung könnte durch Einbau eines akustischen Gerätes besonders bemerkbar gemacht werden. Abbildung 53 zeigt eine vollautomatische Klimaanlage, wie vor beschrieben. Außer den üblichen Einzelteilen ist jedoch in diesem Klimagerät ein Luftfilter (29) in Schrägstromausführung eingebaut. Durch eine entsprechende Bedienungstür sind die Luftfilter sehr zugänglich gemacht, so daß diese zwecks Reinigung leicht herausgenommen werden können. In diesem wie auch im vorher beschriebenen Klimagerät sind als Tropfenfänger keine Prallbleche, sondern Ringgut-Tropfenfänger (5) eingebaut. Die Wirkung dieser ist sehr gut, und es kann hieran nichts bemängelt werden. Die Befeuchtungskammer (Wäschergehäuse) ist mit einem Marinefenster versehen, so daß nach dem Einschalten des elektrischen Lichtes (9) die Wirkung der Düsen (Wasserzerstäubung) beobachtet werden kann. Abbildung 54 zeigt eine Klimaanlage zur selbsttätigen Regelung der Temperatur und Feuchte, und zwar im Sommer unter Innehaltung einer bestimmten Temperatur in der Düsenkammer und entsprechender Nachwärmung der Luft (Taupunktregelung) und im Winter unter Beeinflussung der Wasserzerstäubung und des Nachwärmers. Zur Vorerwärmung der Luft ist ein Luftvorerwärmer (*V*) vorgesehen. *J* 1, *J* 2 und *J* 3 stellen die erforderlichen Luftklappen dar. Weiter bedeuten *Fl* der Luftfilter, *K* Trockenkühler, *T* Tropfenfänger, *N* Nacherwärmer und *L* Lüfter. Außerdem ist ersichtlich, daß diese Anlage mit Frischluft *F* und Rückluft *R* betrieben werden kann. Bei gemauerten Klimaanlagen läßt sich die Anordnung der einzelnen Teile nach Abb. 54 sehr gut anwenden. Die Luftklappe *J* 3 wird im Sommer ganz geöffnet, so daß die Luft nicht durch den Vorwärmer (*V*) gesaugt werden muß. Das gewünschte Frischluft-Rückluft-Verhältnis kann auch durch Betätigung der Luftklappen *J* 1 und *J* 2 hergestellt werden. Die Betätigung dieser Luftklappen kann

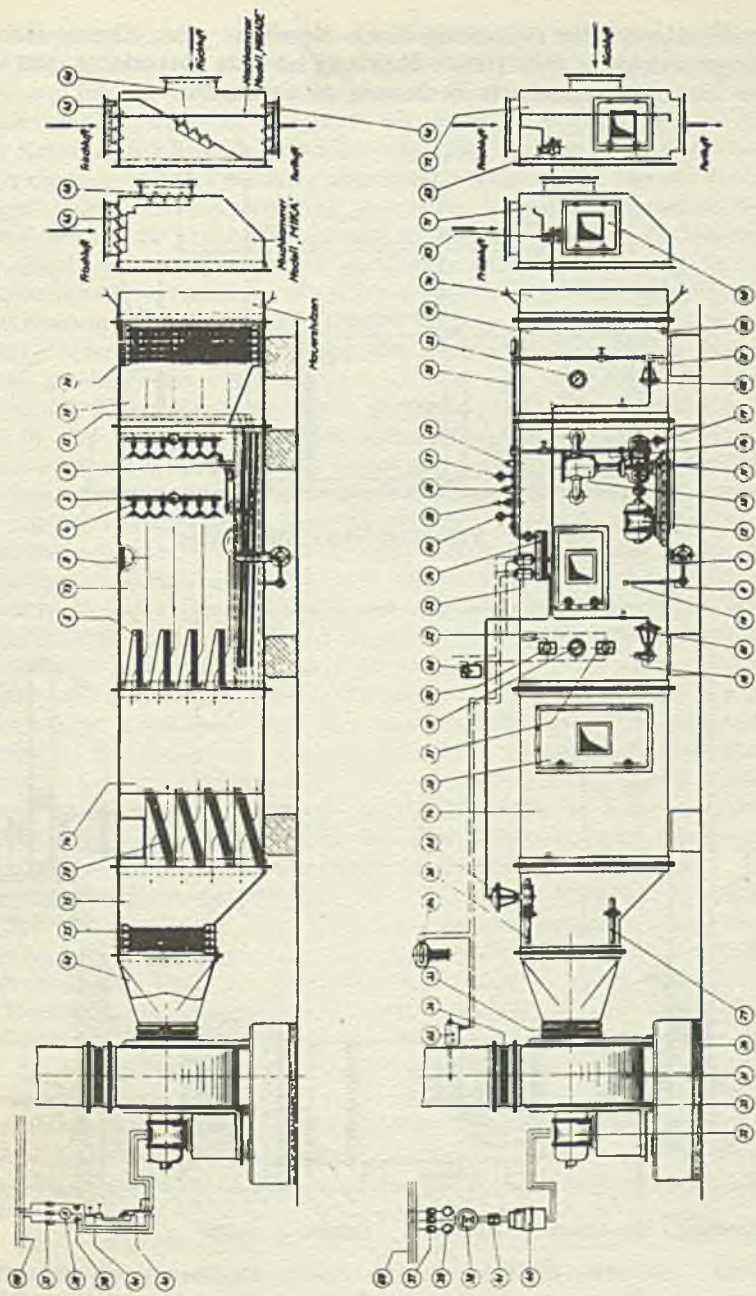


Abb. 53. Vollautomatisches Klimagerät mit eingebautem Luftfilter.

von der Hand oder selbsttätig durch Membran- oder Elektro-Hebelbetätiger erfolgen. Selbsttätige Regelung ist stets vorzuziehen, um vor allem eine ungewissenhafte Bedienung zu vermeiden.

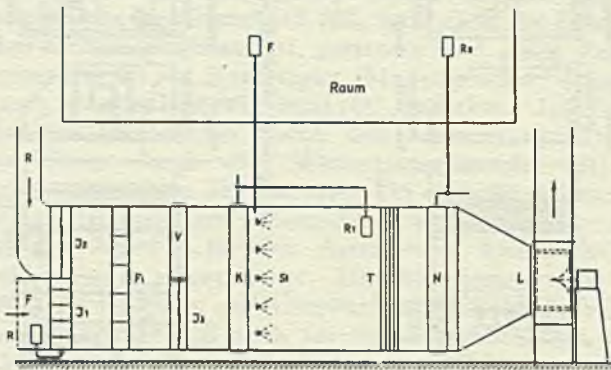


Abb. 54. Vollautomatische Klimaanlage.

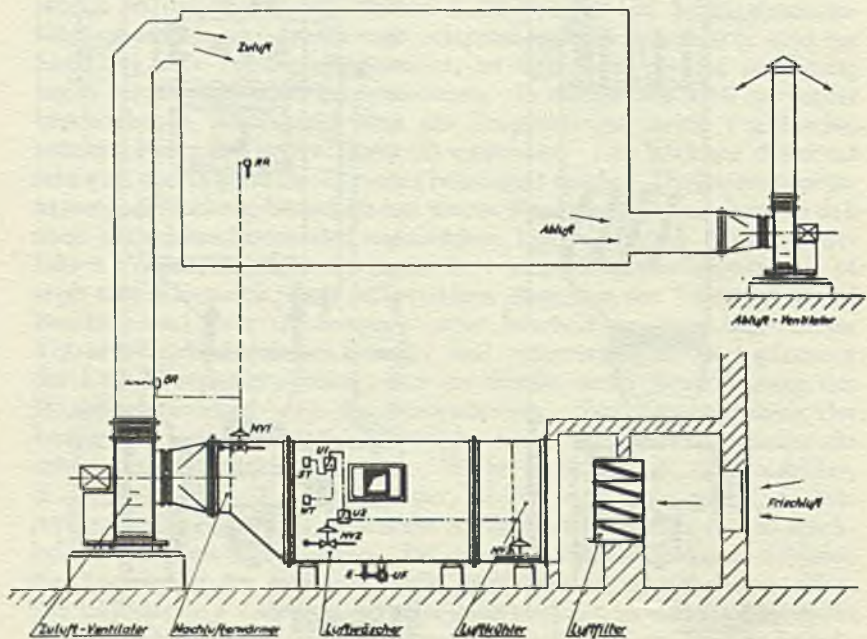


Abb. 55. Vollautomatische Klimaanlage für Frischluftbetrieb mit gemauerter Filterkammer.

Die in Abbildung 55 dargestellte Bauform ist eine ausgesprochene Frischluftanlage, wie sie für Krankenhäuser, Laboratorien usw. Verwendung findet. Diese Ausführungsart kann also überall dort verwendet werden, wo keine Raumluft mitverwendet werden darf, sondern dem Raum ausschließlich Frischluft zugeführt und die Raumluft durch einen eigenen Abluft-Ventilator abgesaugt werden muß. Für die Unterbringung des Luftfilters ist eine gemauerte Kammer vorgesehen, von welcher sowohl die Staubluft- als auch die Raumluftseite je eine luftdicht schließende Tür erhält. An die gemauerte Filterkammer schließt sich mittels eines Mauerrahmens die Klimaanlage an. Je nach den Betriebsverhältnissen des zu klimatisierenden Raumes wird die Leistung des Abluft-Lüfters größer, gleich groß oder kleiner als diejenige der Klimaanlage gewählt, um einen Unterdruck oder im letzteren Falle einen Überdruck zu schaffen. An Stelle der gemauerten Filterkammer ist in Abb. 56 der Luftfilter direkt im Klimagerät eingebaut. Die Anlage kann somit unmittelbar mit der Frischluft-Ansaugöffnung oder Frischluft-Ansaugleitung in Verbindung gebracht werden. Diese Anordnung des Einbau-Luftfilters hat den Vorteil, daß die Luft stets mit einer Mindesttemperatur von $+10^{\circ}\text{C}$ zum Filter gelangt und somit die Leistung des Luftfilters durch evtl. zu niedrige Temperatur und die dadurch bedingte Herabsetzung der Bindefähigkeit des Öles nicht beeinträchtigt wird. Ein Nachteil liegt jedoch darin, daß das Düsen-speisewasser infolge Staubaufnahme verschmutzt, und so unter Umständen die Düsen verstopfen. Es muß von Zeit zu Zeit das Düsen-speisewasser abgelassen und das Sammelgefäß gründlich ausgespült werden. Bei Frischluft mit nur geringem Staubgehalt tritt dieser Nachteil jedoch weniger auf. Die in Abb. 57 angeführte Klimaanlage ist in ihrer Ausführung gleich derjenigen in Abb. 55, jedoch überall dort zu verwenden, wo für den Betrieb der gesamten Anlage aus wirtschaftlichen Gründen Raumluft mitverwendet werden soll. Die einzelnen Einmündungsöffnungen für Frisch- bzw. Rückluft sind durch Klappen zu regulieren. Die Verstellung dieser Klappen erfolgt selbsttätig und wird durch die Taupunktregler beeinflußt. Der Raumregler kann in diesem Falle zur Erzielung einer besseren Anzeigegenauigkeit im Rückluftkanal angeordnet werden. Dadurch werden schädigende Einflüsse durch Mauerstrahlung oder Fensterabkühlung vermieden und nur die tatsächlich im Raum herrschende Lufttemperatur angezeigt. Die Leistung des Abluft-Lüfters (Fortluft) ist hier von der Menge der zugeführten Raumluft und rückgesaugten Rückluft abhängig und je nach den Betriebsverhältnissen verschieden.

Abb. 58 zeigt eine Klimaanlage wie vor, jedoch mit direkt im Klimagerät eingebauten Luftfilter. Hierzu gilt das zu Abb. 56 Gesagte.

Die in Abb. 59 dargestellte Klimaanlage ist mit der vorher beschriebenen Anlage bis auf die Ausführung der Rückluft-Frischluft-Mischkammer vollkommen übereinstimmend. Während in Abb. 58 sowohl

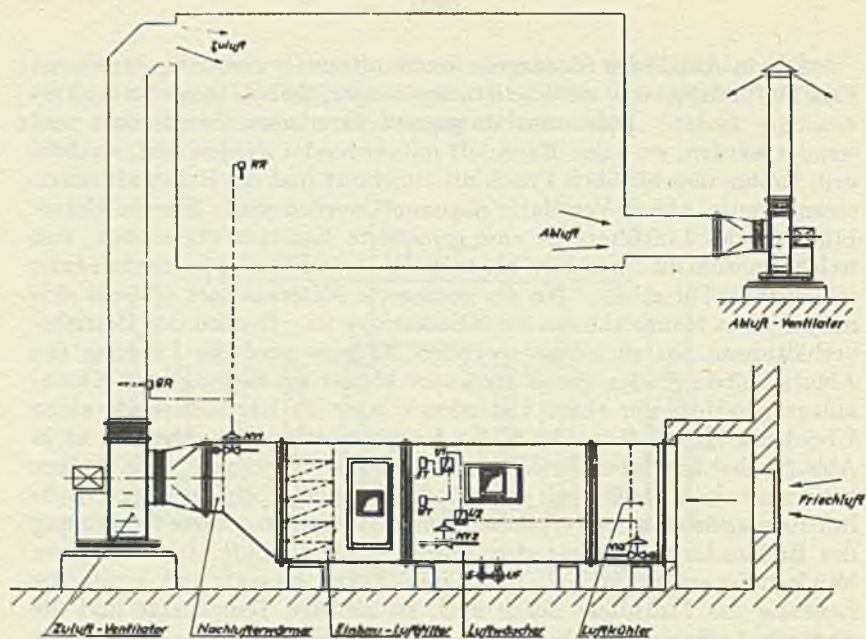


Abb. 56. Vollautomatische Klimaanlage für Frischluftbetrieb mit eingebautem Luftfilter.

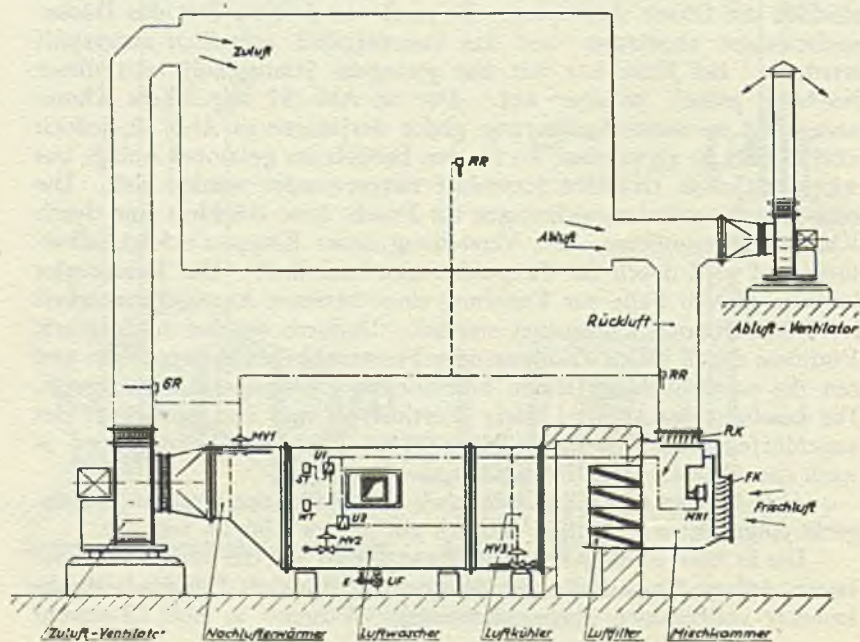


Abb. 57. Klimaanlage für Frisch- und Rückluftbetrieb.

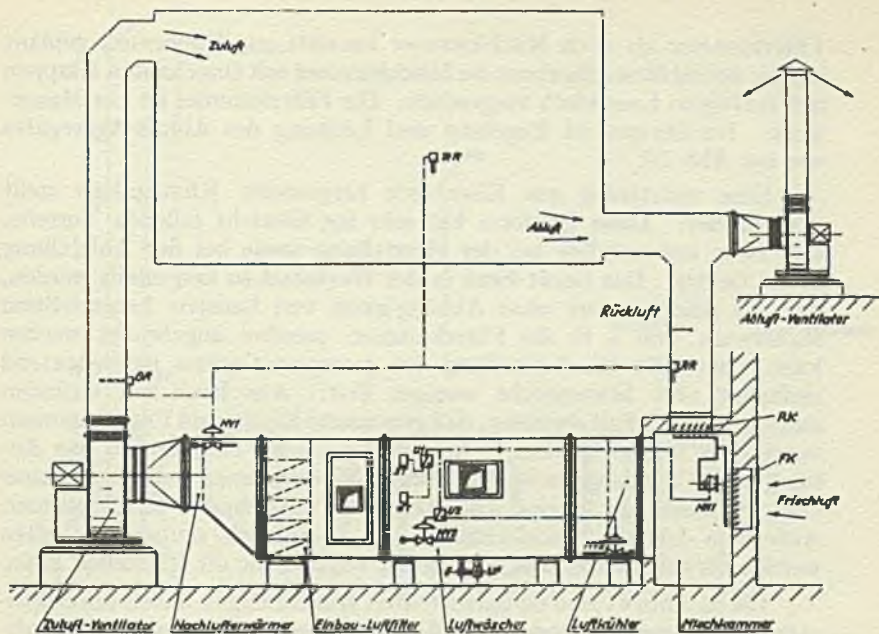


Abb. 58. Klimaanlage für Frisch- und Rückluftbetrieb mit eingebautem Luftfilter.

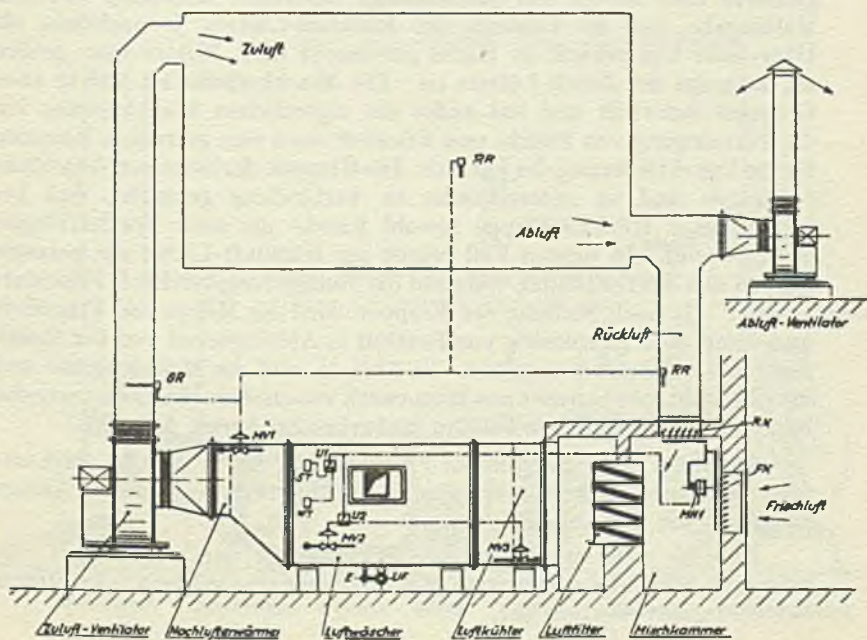


Abb. 59. Klimaanlage für Frisch- und Rückluftbetrieb mit Mischkammer aus Eisenblech.

Filterkammer als auch Mischkammer bauseits aus Mauerwerk geplant waren, ist bei dieser Bauform die Mischkammer mit eingebauten Klappen aus kräftigem Eisenblech vorgesehen. Die Filterkammer ist aus Mauerwerk. Im übrigen ist Regelung und Leistung des Abluft-Aggregates wie bei Abb. 57.

Eine vollständig aus Eisenblech hergestellte Klimaanlage stellt Abb. 60 dar. Diese Bauform hat sehr ins Gewicht fallende Vorteile, und zwar insbesondere bei der Herstellung sowie bei der Aufstellung dieser Geräte. Das Gerät kann in der Werkstatt so hergestellt werden, daß die Mischkammer ohne Abhängigkeit von bauseits hergestelltem Mauerwerk, wie z. B. der Filterkammer, passend angebracht werden kann, das heißt die Aufstellung des gesamten Gerätes ist bedeutend einfacher und beansprucht weniger Zeit. Aus baulichen Gründen kann jedoch der Fall eintreten, daß gemauerte Misch- und Filterkammern vorgesehen werden müssen. Nebenbei sei noch betont, daß das Anbringen der Luftklappen in eine eiserne Mischkammer bedeutend besser erfolgen kann, als in eine aus Mauerwerk bestehende Mischkammer. Außerdem können Mischkammern aus Eisenblech sauberer gehalten werden als gemauerte, was man in der Praxis sehr oft feststellen kann.

Die in Abb. 61 und 62 dargestellten Klimaanlagen haben im Gegensatz zu den beschriebenen keinen Abluft-Lüfter, sondern einen Rückluft-Lüfter. Es wird in dieser Ausführungsart die gesamte, dem Raum zugeführte Luft wieder zur Klimaanlage befördert, allerdings mit der Maßangabe, daß die Leistung des Rückluft-Lüfters, je nachdem, ob Über- oder Unterdruck im Raum gewünscht wird, kleiner bzw. größer als diejenige des Zuluft-Lüfters ist. Die Mischkammer ist hier in zwei Gruppen unterteilt und hat außer der eigentlichen Mischkammer für die Vermengung von Frisch- und Rückluft noch eine getrennte Kammer für die Druckförderung der Fortluft. Die Klappen der einzelnen Anschlußöffnungen sind so untereinander in Verbindung gebracht, daß bei geschlossener Rückluftklappe sowohl Frisch- als auch Fortluftklappe geöffnet sind. In diesem Fall bringt der Rückluft-Lüfter die gesamte Luft in den Fortluftkanal, während die Anlage hauptsächlich Frischluft ansaugt. Je nach Stellung der Klappen wird die Menge von Frischluft und damit auch gleichzeitig von Fortluft in Abhängigkeit von der Menge zugeführter Rückluft reguliert. In Abb. 61 sind die Mischkammer und die Filterkammer bauseits aus Mauerwerk vorzusehen. Die automatische Regelung ist dieselbe wie bei den vorherbeschriebenen Anlagen.

An Stelle einer gemauerten Filterkammer ist in Abb. 62 der Luftfilter in dem Klimagerät eingebaut. Die Arbeitsweise dieser Anlage ist genau wie bei Abb. 61.

Abb. 63 stellt wiederum eine Klimaanlage dar wie Abb. 61, die jedoch an Stelle der gemauerten Mischkammer eine solche aus kräftigem Schmiedeeisen erhalten hat.

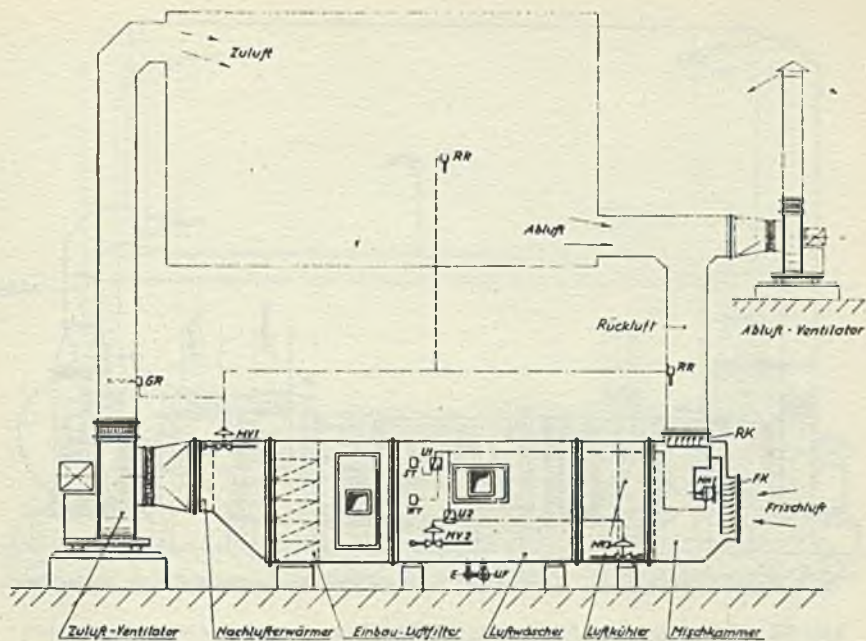


Abb. 60. Klimaanlage für Frisch- und Rückluftbetrieb vollständig aus Eisenblech hergestellt

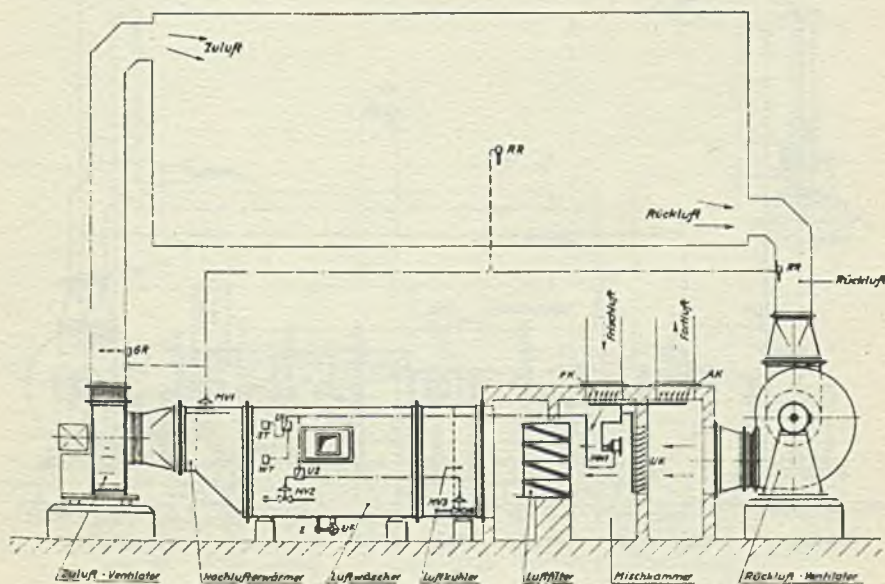


Abb. 61. Klimaanlage mit Frisch- und Fortluftkammer sowie Filterkammer.

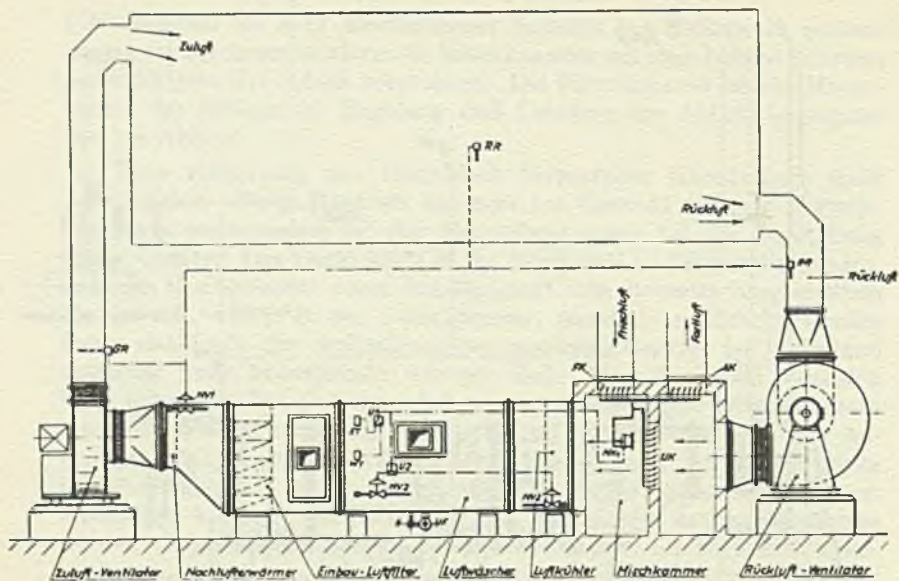


Abb. 62. Klimaanlage mit Frisch- und Rückluftkammer und im Gerät eingebauten Luftfilter.

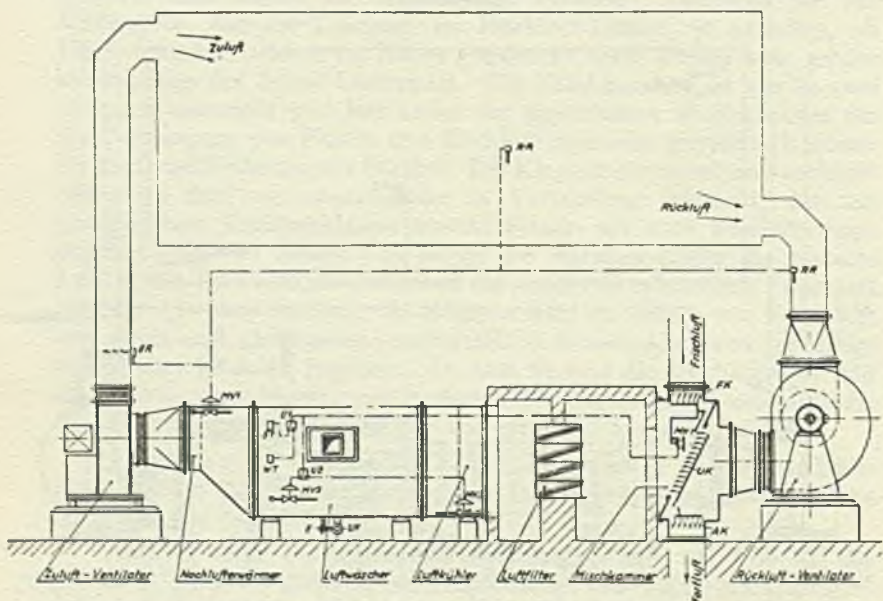


Abb. 63. Klimaanlage mit schmiedeeiserner Mischkammer

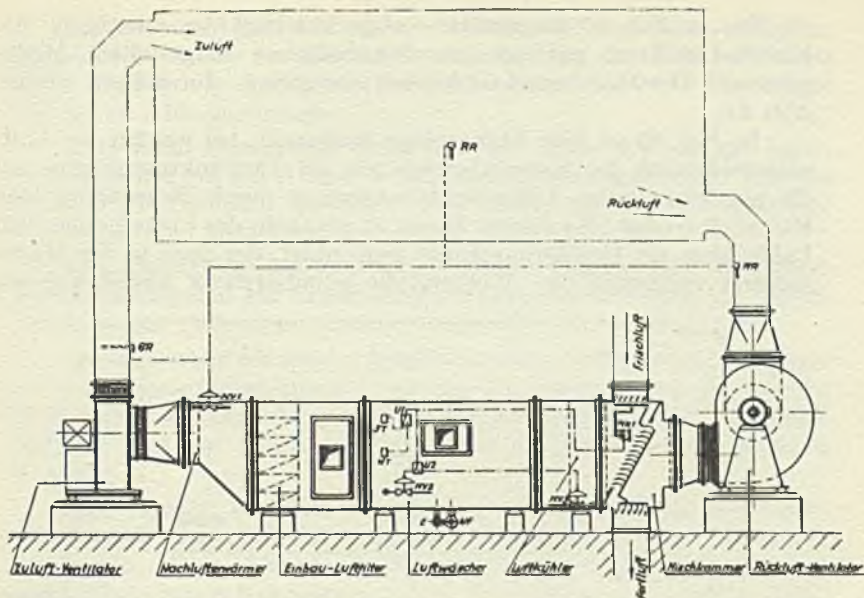


Abb. 64. Klimaanlage vollständig aus Schmiedeeisen hergestellt.

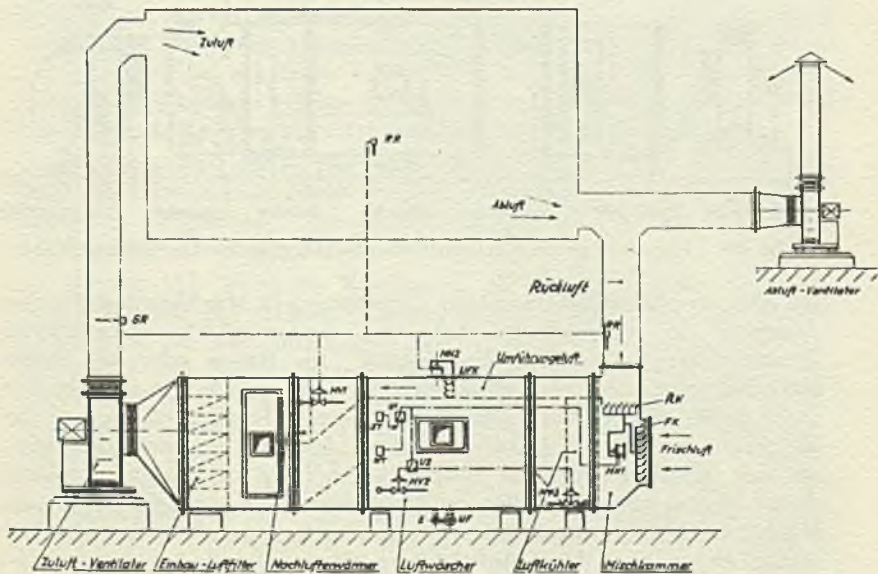


Abb. 65. Klimaanlage mit eingebautem Umluft-Umführungskanal.

Die in Abb. 64 dargestellte Anlage vereinigt die Anordnung des Einbau-Luftfilters mit der aus Schmiedeeisen hergestellten Mischkammer. Der Platzbedarf ist hierbei sehr gering. Im übrigen wie bei Abb. 61.

In Abb. 65 ist eine Klimaanlage dargestellt, bei welcher die Luftnacherwärmung bei Sommerbetrieb von der Taupunkttemperatur auf die mindestzulässige Lufttritttemperatur durch Beimengung von Raumluft erfolgt. Zu diesem Zweck ist oberhalb des Luftwäschers und Luftkühlers ein Umföhrungskanal angeordnet, der auch in der Mischkammer vorhanden ist. Während die grundsätzliche Ausführung wie

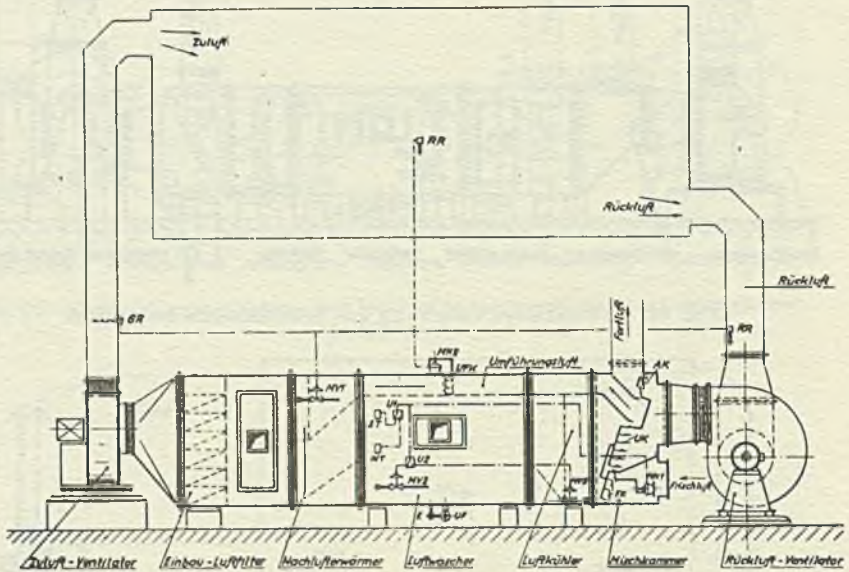


Abb. 66. Klimaanlage mit Rückluftlüfter und eingebautem Umföhrungskanal.

bei Abb. 60 ist, kommt hierzu die Unterteilung in Mischkammer für den Anschluß des Umföhrungskanals und die erweiterte automatische Temperaturregelung. Der Raumregler, im Raum oder im Rückluftkanal angeordnet, in Verbindung mit dem Grenzregler arbeitet hier nicht mehr, wie bei den vorher beschriebenen Bauformen nur auf das Membranventil des Nachluftewärmers, sondern grundsätzlich noch auf den Membranhebel unter Klappenverstellung im Umföhrungskanal derart, daß er beim Schließen des Membranventils auch gleichzeitig die Klappe im Umföhrungskanal schließt oder umgekehrt. Über die Leistungsbemessungen des Abluft-Lüfters gilt das bereits bei den Abb. 55 bis 60 Gesagte. Der Luftfilter ist, damit auch die gesamte Luftmenge gereinigt wird, hinter dem Nachluftewärmer eingebaut.

An Stelle des Abluft-Lüfters ist in Abb. 66 wieder ein Rückluft-Lüfter vorgesehen. Außer zur Rückluftbewegung dient der Rückluft-Lüfter dazu, die Fortluft durch den Fortluftkanal zu drücken. Im übrigen gilt das zu Abb. 64 Gesagte.

Eine Klein-Klimaanlage zeigt Abb. 67. Diese Kleinanlage eignet sich besonders gut zur Klimatisierung von Operationsräumen. Wie aus der Abb. 67 ersichtlich, handelt es sich hierbei um ein Gerät stehender Anordnung und bedarf zur Aufstellung nur wenig Platz.

Ein Klimagerät, bei dem an Stelle der Heizschlange im Düsenwassersammelgefäß zur Erwärmung des Düsen Speisewassers ein Gegenstromapparat (Wärmeaustauscher) aufgestellt ist, zeigt Abb. 68.

Weiter ersehen wir aus der Abbildung unter dem Gegenstromapparat die Düsenwasserumwälzpumpe, welche mit einem direkt gekuppelten Drehstrommotor angetrieben wird. Außerdem sind ein Teil der Taupunktregelung und die Fenster zur Beobachtung der Wasserzerstäubung zu sehen.

Abb. 69 zeigt eine Klimaanlage, bei der zur Kühlung eine Kältemaschine *O* aufgestellt ist. Als Kältemittel ist hierbei Ammoniak vorgesehen. Die Kältesole fließt vom Ammoniak-Behälter *P* durch eine entsprechende Rohrleitung zu der Rohrschlange, welche im Kühlwassertank *J* angeordnet ist. Beim Durchfließen der Rohrschlange gibt nun die Kältesole einerseits Kälte ab und nimmt andererseits Wärme auf, das heißt, das Kühlwasser wird gekühlt. Damit das Kühlwasser durchweg die gleiche Temperatur aufweist, so daß die Düsen auch tatsächlich gekühltes Wasser erhalten, ist außerdem ein Rührwerk *K* vorgesehen, welches das Kühlwasser in Bewegung bringt und so eine Mischung des wärmeren und des gekühlten Wassers bewirkt.

Zur Regelung der Wärme- und Kältemediumzufuhr sowie zur Regelung der Düsenwassermenge (Befeuchtung) sind hierzu Elektromotorventile *N* vorgesehen. Die ganze Regelung wird elektrisch gesteuert (siehe hierzu Abschnitt VII).

In der Abb. 70 ist ein Klimagerät mit Regelung durch Membranventile dargestellt. Hierin bedeutet *A* den Lüfter, der die veredelte Luft durch die Verteilleitungen zu den zu klimatisierenden Räumen drückt, *B* den Nacherwärmer, *C* die Taupunktregelung und *D* den Tropfenfänger. In *E* befinden sich die Düsenbatterien, *F* ist ein Dampfverteiler, von wo aus je eine Leitung zum Vorerwärmer *P* und zum Nacherwärmer *B* führen. *G* bedeutet den selbsttätig gesteuerten Klappenversteller für die Rückluftklappe *H* und die Frischluftklappe *I*. Mit der Bezeichnung *K* sind die Regelventile für die Dampfzufuhr, die für Kaltwasser mit *M*, gemeint. Die Düsen Speisewasserumwälzpumpe ist mit *M* gekennzeichnet, bei *N* ist ein Wasserfilter angeordnet, bei *O* das Schwimmerventil, welches den Wasserspiegel im Düsenwasserbehälter konstant hält.

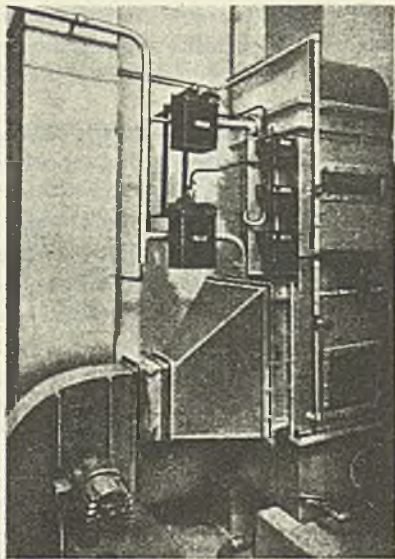


Abb. 67. Klein-Klimaanlage stehender Anordnung.
(Werkfoto Schobel, München)

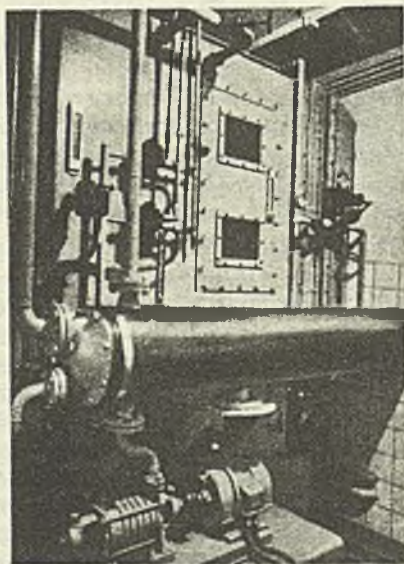


Abb. 68. Klimagerät mit Gegenstromapparat zur Erwärmung des Düsenwassers.
(Werkfoto Schobel, München)

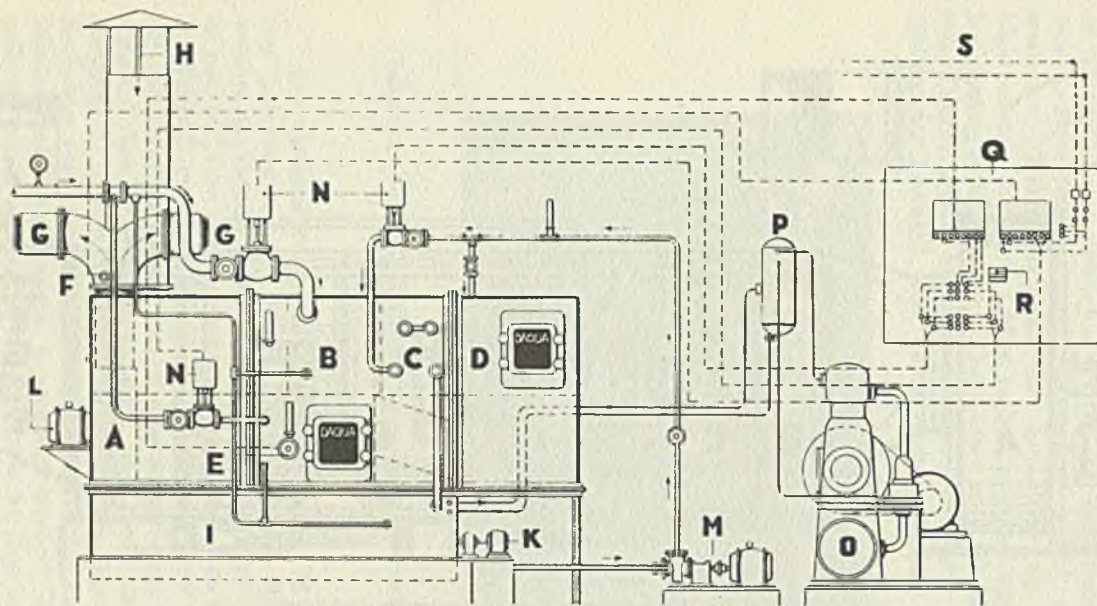


Abb. 69. Klimaanlage mit Kältemaschine.

(Werkfoto Daqua, Berlin)

- | | | | |
|----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|
| A = Zuluftventilator | F = Temperatur-Relais | L = Antriebsmotor für Zuluft- | O = Kältemaschine |
| B = Vorwärmung | G = Zuluftkanal | ventilator | P = Ammoniakbehälter |
| C = Taupunkt-Relais | H = Frischluftkanal | M = Umwälzpumpe für Kühl- | Q = Schalttafel |
| D = Kühlzone | I = Kühlwasser-Tank | wasser | R = Schalt-Relais |
| E = Nachwärmung | K = Rührwerk | N = Regelventil mit Motorantrieb | S = Netz-Anschlußkabel |

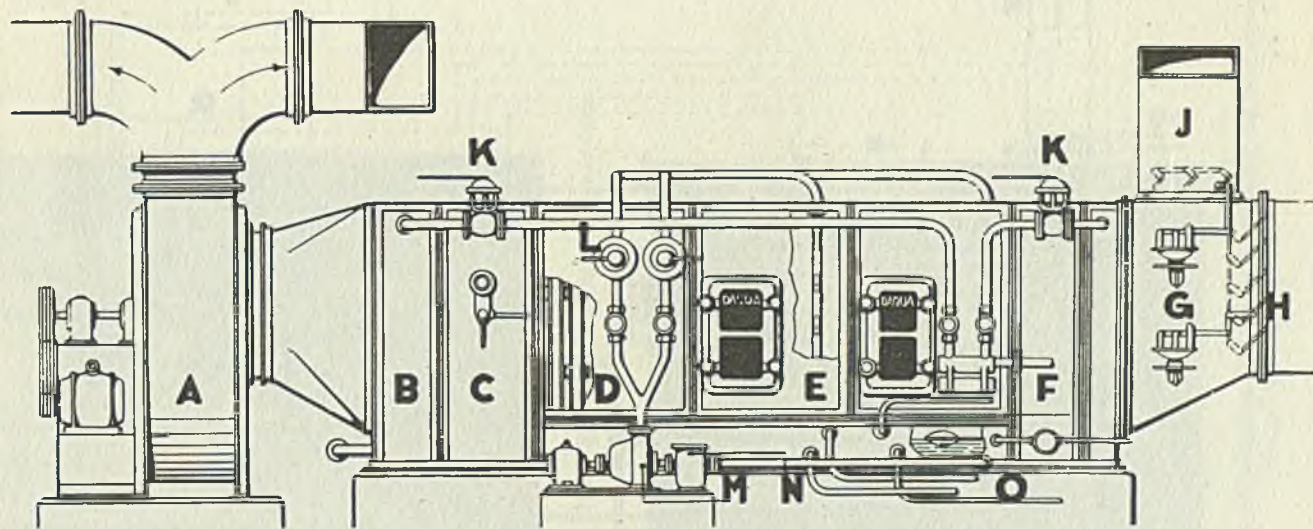


Abb. 70. Klimaanlage (schmiedeeisernes Gehäuse).

(Werkfoto Daqua, Berlin)

A = Zuluftventilator
 B = Nachwärmung
 C = Taupunkt-Relais
 D = Tropfenfänger
 E = Düsenbatterien

F = Dampfverteiler
 G = Klappensteller
 H = Umluftklappe
 J = Frischluftklappe
 K = Regelventile für Dampfzufuhr

L = Regelventile für Kaltwasser
 M = Umwälzpumpe für Kaltwasser
 N = Siebfilter
 O = Schwimmerventil für Frischwasser

Abb. 71 zeigt eine Teilansicht einer selbsttätigen Klimaanlage mit elektrischer Regelung. Im Vordergrund sind deutlich zwei motorgesteuerte Ventile und rechts ein motorgesteuerter Klappenversteller zu erkennen. Das Ventil auf der rechten Seite regelt die Dampfzufuhr zum Luftvorerwärmer und das andere Ventil die zum Luftnacherwärmer. Weiter ist aus der Abbildung zu ersehen, daß der Elektromotor mit dem Lüfter nicht direkt gekuppelt, sondern durch Keilriemen verbunden ist. Der Lüfter und der Motor sind auf einer gemeinsamen Platte aufgestellt, welche durch eine der Belastung entsprechenden Anzahl von Schwingungsdämpfern unterstützt wird.

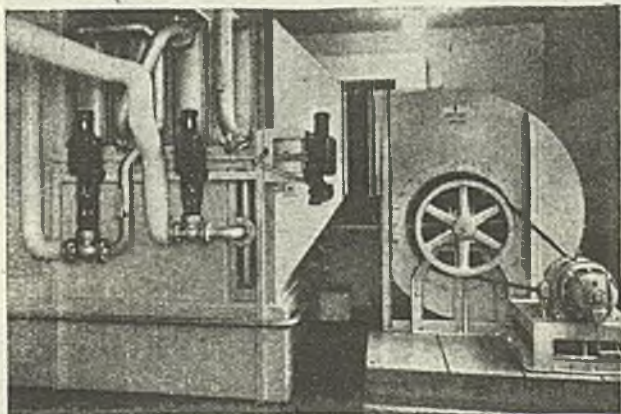


Abb. 71.

Teilansicht einer selbsttätigen Klima-Anlage mit elektrischer Regelung.

(Werkfoto Siemens, Berlin)

Ein versandbereites Klimagerät zeigt Abb. 72. Hierin bedeuten *A* den Luftvorerwärmer, *A*¹ das dazugehörige Membranventil, durch welches die Heizmediumzufuhr geregelt wird. Der Luftnacherwärmer *B* ist hier nicht im Gerät selbst, sondern hinter dem Lüfter, sozusagen im Zuluftkanal untergebracht. *B*¹ bedeutet wieder das dazugehörige Membranventil. Das Düsenspeisewasser, welches durch die Umwälzpumpe *C* den Düsen zugeführt wird, wird durch das Membranventil *C*¹ geregelt. *D* ist eine mit einem Schauglas versehene Tür, durch welche die Düsen zugänglich gemacht sind. Im Betrieb kann das Arbeiten der Düsen durch das Schauglas kontrolliert werden. Mit *E* ist der Lüfter gekennzeichnet und mit *F* die hydrantische Regelanlage.

Das in Abb. 73 dargestellte Klimagerät enthält alle wesentlichen Bestandteile der zentralen Apparate, so z. B. Frischluftöffnung mit Filter, Rückluft- oder Umluftöffnung, Mischkammer, Luftwäscher mit Düsen-

stock (Befeuchtungsanlage), Kreislumppe für Düsenwasserumwälzung, Luftnacherwärmer, Lüfter und Heizschlange im Wassersammelgefäß.

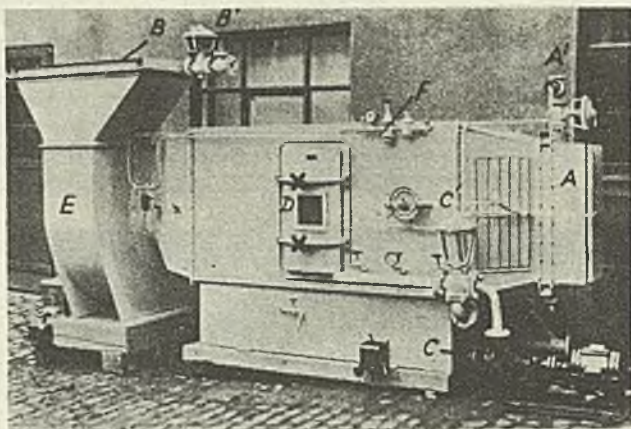


Abb. 72. Klimaanlage mit Membranventil-Regelung.
(Werkfoto Nema)

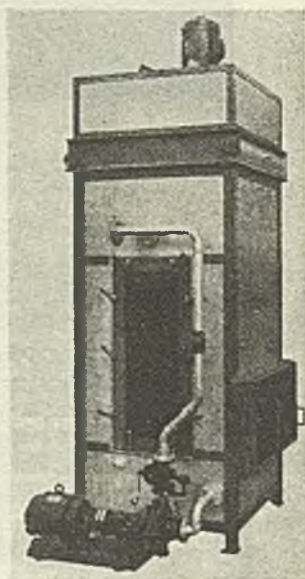
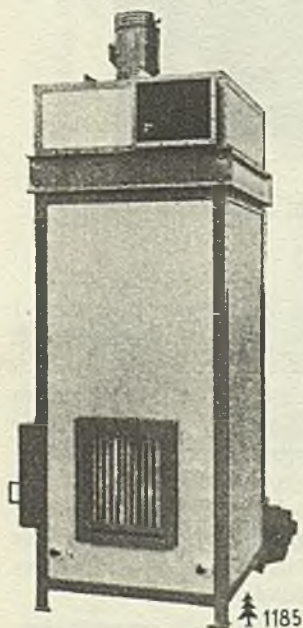


Abb. 73. Stehendes Klimagerät (Schrankform).
(Werkfoto Kiefer, Stuttgart)

Auf dem Gerät ist der Antriebsmotor für den Lüfter, darunter die Luftausblaseöffnung und weiter unten die Rückluftöffnung angeordnet. Diese Geräte können direkt in dem zu klimatisierenden Raum (Industriebetrieb) aufgestellt werden. Es können jedoch zur Verteilung der Zuluft und zur Ansaugung der Rückluft kurze Kanäle verwendet werden.

Ein größeres, stehendes Klimagerät in Schrankform ist in Abb. 74 dargestellt. Im oberen Teil des Gerätes ist der Lüfter *A* ersichtlich. Auch in diesem Gerät sind die Düsen durch eine kleine Tür *A* zugänglich. Da diese Tür mit einem Schauglas versehen ist, können die Düsen auch im Betrieb beobachtet werden.

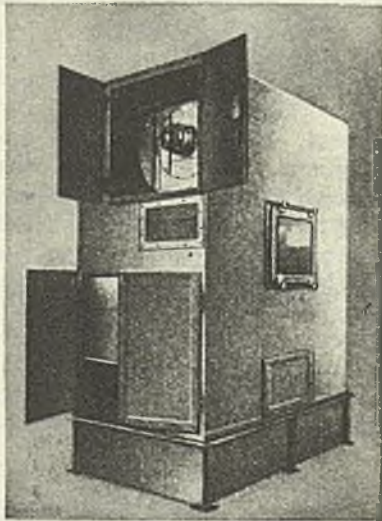


Abb. 74. Größeres, stehendes Klimagerät (Schrankform).
(Werkfoto Siemens)

Der Apparat ist so durchkonstruiert, daß der Platzbedarf auf das geringstmögliche Maß beschränkt bleibt; dabei sind die Einbauten in allen Teilen gut zugänglich. Die Kontrolle kann durch leicht zu öffnende, aber wasserdicht abschließende Türen mit Schaugläsern bequem erfolgen. Die Regelorgane und Gruppenventile sind übersichtlich und leicht zugänglich am Apparat aufgebaut; die Übersicht und Bedienung der Anlage ist daher sehr bequem durchzuführen.

Die in diesem Abschnitt dargestellten Abbildungen sollen demjenigen, welcher sich mit der Projektierung und Ausführung von Klimaanlagen befassen will, über die vielen Ausführungsmöglichkeiten einen Einblick geben. Wie schon betont, gibt es noch viele andere Bauformen, die im wesentlichen durch den Verwendungszweck und durch den zur

Aufstellung zur Verfügung stehenden Platz bedingt werden. Welches Gerät nun gegenüber einem anderen vorgezogen werden kann, ist nicht allgemein zu beantworten und kann von Fall zu Fall ganz verschieden sein. Eine nicht unwesentliche Rolle spielen hierbei auch die zur Verfügung stehenden Geldmittel.

Gesichtspunkte für die Planung einer Klima-Anlage.

Zum Entwurf einer Klimaanlage bedarf der Ingenieur verschiedener wichtiger Angaben, die nur durch sorgfältige Untersuchungen und Überlegungen zu erlangen sind. Dem Ingenieur mit großer Erfahrung im Projektieren und Ausführen von Klimaanlagen wird die Beschaffung der wichtigsten Unterlagen weniger Schwierigkeiten bereiten als dem weniger erfahrenen. Was den baulichen Teil anbelangt, wird jedem einleuchten, daß es wesentlich leichter ist, in einen Neubau als in ein bestehendes Gebäude (Altbau) eine Anlage einzubauen. In vielen Fällen wird die Erstellung der Anlage in einem Altbau besonders schwierig durch die Verlegung der gesamten Luftverteilungsanlage. Bei einem Neubau jedoch ist es möglich, von vornherein mit dem leitenden Architekten und Baumeister in Verbindung zu treten, damit für die Unterbringung der Luftkanäle die erforderlichen Vorkehrungen getroffen werden können.

Die ersten wichtigen Grundlagen gehen aus den dem entwerfenden Ingenieur zur Verfügung gestellten Grundriß- und Schnittzeichnungen hervor. Angaben über Himmelsrichtung, Wändekonstruktion, Fenster, Türen, Fußböden, Decke und Raumabmessungen müssen diese Zeichnungen unbedingt enthalten. In Anbetracht dessen, daß mit Kohle sparsam umgegangen werden muß, denn diese brauchen wir noch für viele andere Zwecke, ist stets darauf zu achten, daß die Wärmeverluste im Winter möglichst gering gehalten werden. Ein großer Beitrag dazu kann erzielt werden, wenn dicht schließende Doppelfenster zur Verwendung kommen. Leider wird dieser außerordentlichen Tatsache bauseits viel zu wenig Beachtung geschenkt, und es ist sehr notwendig, in Zukunft diesem Faktor Rechnung zu tragen und dafür zu sorgen, daß die Wärmeverluste möglichst gering gehalten werden.

Um nun mit der Berechnung des Klimagerätes beginnen zu können, muß der gewünschte Raumluftzustand bekannt sein. Damit unnötige Wege und Unkosten vermieden werden, sollte jede Klimaanlagen aus-

führende Firma einen Fragebogen aufstellen, der dem Bauherrn zur Ausfüllung zugeschickt wird. Ein solcher Fragebogen soll folgende Fragen enthalten:

1. Welche Räume sollen klimatisiert werden?
Auf den Zeichnungen vermerken.
2. Benutzungsart (Zweck) der zu klimatisierenden Räume?
3. Gewünschte Raumtemperatur:
 - a) im Sommer..... $^{\circ}\text{C}$,
 - b) im Winter mindestens $^{\circ}\text{C}$.
4. Gewünschte relative Luftfeuchtigkeit in den Räumen?
 - a) im Sommer% rel. Feuchtigkeit,
 - b) im Winter% rel. Feuchtigkeit.
5. Anzahl der in den Räumen versammelten Personen?
 - a) normal,
 - b) höchstens.

Wenn mehrere Räume klimatisiert werden, ist Eintragung der Personenzahl in die Zeichnungen erwünscht.

6. Leistung der in den zu klimatisierenden Räumen eingebauten, wärmeabgebenden Motoren und Geräten in KW oder PS.

Auf den Zeichnungen vermerken.

7. Sind örtliche Heizflächen vorzusehen oder soll die Klima-Anlage die Beheizung der Räume mit übernehmen?
8. Steht Wasser zur Verfügung?
 - a) Aus der Städtischen Leitung Mengecbm;
 - b) Aus eigenem Brunnen Mengecbm;
 - c) Höchste Sommertemperatur des Wassers $^{\circ}\text{C}$.
9. Welche Türen werden sehr häufig geöffnet bzw. bleiben längere Zeit nach nicht klimatisierten Räumen geöffnet?
10. Temperatur der angrenzenden Räume?
 - a) Sommer $^{\circ}\text{C}$;
 - b) Winter $^{\circ}\text{C}$,
 - neben,
 - unter,
 - über den zu klimatisierenden Räumen?

11. Welcher Raum ist für die Aufstellung der Apparate vorgesehen?
12. Verfügbare Stromart Betriebsspannung Volt?
13. Ist ein Heizmedium vorhanden? (Fernleitung).
14. An welcher Stelle kann staub- und geruchsfreie Frischluft im Freien entnommen werden? (Auf Zeichnung vermerken.)

15. Wieviele Stunden am Tag soll die Klimaanlage benutzt werden?
16. Welche besonderen Wünsche sind bei der Planung der Anlage zu berücksichtigen?

Falls nicht einwandfreie Pläne zur Verfügung stehen, sind die dadurch entstandenen Fragen auch mit anzuführen.

Für den Winterbetrieb ist nun die Wärmeverlustberechnung aufzustellen, wobei es sich empfiehlt, sich der Heizungsregeln DIN 4701 zu bedienen. Die zur Befeuchtung der Raumluft erforderliche Wassermenge ist zu ermitteln, welche multipliziert mit dem Wirkungsgrad der Düsen bzw. mit der Feuchtigkeitsaufnahmefähigkeit der Luft die stündliche umzuwälzende Düsenpeisewassermenge ergibt. Der Wirkungsgrad kann mit 2% angenommen werden, so daß sich die umzuwälzende Wassermenge ergibt, indem man die zur Befeuchtung erforderliche Wassermenge mit 50 multipliziert. Da in den meisten Fällen die Kühlleistungsluftmenge größer sein wird als diejenige der Heizleistung, wird diese zur Berechnung der Zulufttemperatur herangezogen. Andernfalls ist eine Zulufttemperatur, welche den Raumverhältnissen gerecht wird (etwa 30 bis 42° C) zugrunde zu legen, und so die erforderliche Luftmenge zu errechnen. Die Berechnung des Vor- bzw. Nacherhitzers geht aus Abbildung 21 deutlich hervor. Bei evtl. Umluft- oder Rückluftbetrieb ist diesem Umstand Rechnung zu tragen und der Wärmeinhalt dieser Luft zu berücksichtigen. Für den Sommerbetrieb ist vorerst die Kühlleistung zu berechnen. Die Berechnung ist zuschlagfrei unter Berücksichtigung der Sonnenstrahlung und der örtlichen wärmeabgebenden Einrichtungen aufzustellen. Hierbei ist besonders die Wärmeabgabe der in diesem Raum bzw. Räumen versammelten Personen richtig aufzustellen, desgleichen auch die Wasserdampfabgabe der Menschen. Nach der Aufstellung der drei genannten Hauptfaktoren wird nun die effektive Kühllast und daraus auch die erforderliche Kühlwassermenge berechnet.

Auch hierbei muß bei eventuellem Umluft- bzw. Rückluftbetrieb, den sich dadurch ergebenden Berücksichtigungen Rechnung getragen werden, denn dadurch können die erforderliche Kühlleistung und damit auch die Kühlwassermenge erheblich verringert werden. Bei der Zugrundelegung der Zulufttemperatur muß besonders vorsichtig vorgegangen werden, damit sich infolge zu kühler Luft keine Zegerscheinungen ergeben. Wird die Zuluft derart in den Raum eingeführt, daß eine Belästigung der Anwesenden ausgeschlossen ist, kann die Zuluft etwa 6 bis 7° C kühler als die Raumluft gewählt werden. Kann diese Bedingung jedoch nicht gewährleistet werden, ist die Zuluft nicht kühler als 3 bis 5° C dem Raum zuzuführen.

Die zur Regelung erforderlichen Regler, Fühler usw. werden im Abschnitt VII besprochen, so daß sich hier eine Beschreibung erübrigt.

Die Luftkanalanlage muß in strömungstechnischer und auch in architektonischer Hinsicht einwandfrei ausgearbeitet sein. Erstere Forderung kann vom Ingenieur mit genügender Erfahrung ohne weiteres erfüllt werden. Die zweite Forderung verlangt weitgehendes Zusammenarbeiten mit dem Architekten oder dem Baumeister. Außerdem vermögen letztere meist ohne große Schwierigkeiten darauf hinzuwirken, daß durch sachgemäße Auswahl der Baustoffe, geeignete Bemessung der Mauerstärken, Fensterflächen u. a. m. eine günstige Wärmebilanz des fertigen Gebäudes und damit die bestmögliche Wirtschaftlichkeit der Klimaanlage sichergestellt wird. Der die Klimaanlage entwerfende Ingenieur muß sich auch darüber im klaren sein, daß die Klimaanlagen (besonders die Komfortanlagen für Krankenhäuser, Rundfunkhäuser u. a. m.) möglichst geräuscharmen Betrieb gewährleisten sollen. Es darf kein sogenanntes Summen und Rauschen in den klimatisierten Räumen vernommen werden.

Endlich sei darauf hingewiesen, daß sich kein Ingenieur der Täuschung hingeben soll, etwa zu glauben, daß man ohne weiteres eine Klimaanlage ohne Erfahrung oder Unterstützung von erfahrenen Fachkollegen ausführen kann. Die in den Gewährleistungen gegebenen Toleranzen betr. Temperatur und Feuchtigkeit sind so gering, daß ein unerfahrener Ingenieur der Firma nur unnötigen Ärger und unnötige Ausgaben verursacht. Es empfiehlt sich daher, sich anfänglich mit der erforderlichen Theorie zur Berechnung von Klimaanlagen vertraut zu machen und von den erfahrenen Fachkollegen die nötigen Erfahrungen zu sammeln.

VI. Abschnitt.

Die Meßgeräte der Klimaanlagen.

Jede Klimaanlage muß, um überhaupt die Leistungen messen und beurteilen zu können, mit den erforderlichen Meßgeräten versehen werden. Auch zur Überwachung der ganzen Klimaanlage sind diese unerläßlich. Deshalb werden im folgenden die zur Überwachung einer Klimaanlage erforderlichen Meßgeräte einzeln beschrieben.

1. Die Temperatur-Meßgeräte.

Im wesentlichen werden zur Messung der Lufttemperaturen die Quecksilber-, Alkohol- oder elektr. Widerstands-Thermometer verwendet. Als schreibende Temperaturmeßgeräte finden die Thermographen (siehe Abb. 75) und die elektr. Widerstands-Thermometer, in Verbindung mit einem Temperaturschreiber (Abb. 80), Verwendung. Es sei noch

gesagt, daß, wenn möglich, nur geeichte Thermometer, gleich welcher Art, zur Temperaturmessung herangezogen werden sollen.

Die Quecksilber- und Alkohol-Thermometer sind sehr verbreitet und werden überall zu einfachen Momenttemperaturmessungen verwendet, so daß diese als bekannt vorausgesetzt werden können.

Will man jedoch ohne großen Zeitaufwand den Temperaturverlauf, zum Beispiel einer Raumlucht, messen, dann empfiehlt es sich, sich eines sogenannten Thermographen zu bedienen. Dieses Meßgerät kann wie folgt beschrieben werden (Abb. 75).

Als Meßelement wird ein flacher, ringförmig gebogener Meßkörper aus Bimetall oder gegebenenfalls ein Bourdourohr verwendet, das sich bei Temperaturschwankungen streckt oder krümmt. Diese Veränderungen werden durch ein Hebelsystem auf einen mit einer Schreib-

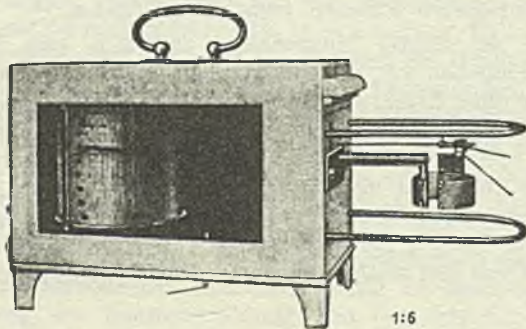


Abb. 75. Thermograph.

feder versehenen Arm übertragen, der die Temperaturschwankungen auf einen um eine Schreibtrommel gelegenen Schreibstreifen aufzeichnet. Die Schreibtrommel selbst wird durch ein im Inneren befindliches Präzisionsuhrwerk angetrieben, das mit Anker-Echappement ausgerüstet ist. Die Umlaufzeit beträgt normal 26 Stunden oder $7\frac{1}{3}$ Tage, je nach dem Bedarf. Die Verwendung von nichtrostenden Materialien ist bei dem beschriebenen Gerät weitestgehend durchgeführt. Die Meßgenauigkeit beträgt in den mittleren Temperaturen (bis 50°C) $0,2^{\circ}\text{C}$, und über 50°C , welche Temperaturen bei Klimaanlageanlagen kaum vorkommen, maximal $0,5^{\circ}\text{C}$.

Dieses Thermograph eignet sich besonders gut zur Messung der Raumlufttemperatur, denn es braucht nur in betriebsfähigem Zustand hingestellt und der Verlauf der Raumlufttemperatur für die gemessene Zeit genauestens abgelesen zu werden.

Will man jedoch zum Beispiel die Lufttemperatur in einem Kanal messen, und zwar so, daß die Temperatur zu jeder Zeit abgelesen werden

kann, dann kann das beschriebene Thermograph nicht verwendet werden, denn es müßte, um mit der zu messenden Luft in Berührung zu kommen, in dem Kanal aufgestellt werden. Um diese Temperaturmessung auf einfachste Art und Weise durchführen zu können, wurde das sogenannte „Stengelthermograph“ (Abb. 76) konstruiert. Dieses ist im wesentlichen genau wie das normale Thermograph, das heißt, die Temperatur wird hierbei auch aufgezeichnet. Der hauptsächlichste Unterschied ist hierbei der als Fühler ausgebildete sogenannte „Stengel“,

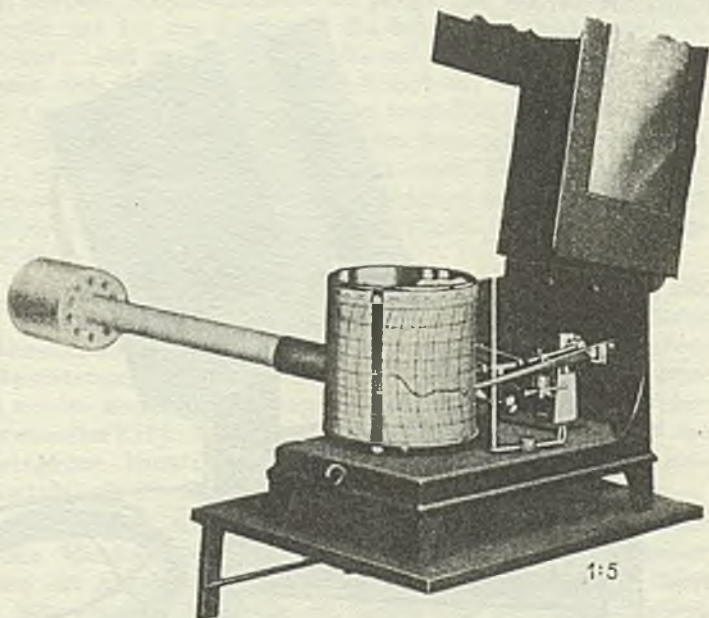


Abb. 76. Stengelthermograph.

welcher in den Luftkanal gesteckt wird. Das Thermograph wird nun auf eine an der Kanalwandung befestigte Konsole gestellt, und zwar so, daß zwecks Temperaturablesung das Gerät sehr zugänglich ist.

Läßt sich jedoch das Stengelthermograph sehr schlecht anbringen, so steht uns für solche Fälle das sogenannte „Fernthermograph“ (Abb. 77) zur Verfügung. Hierbei kann das Thermograph an geeigneter Stelle aufgestellt und der Meßkörper *M* an die zu messende Stelle gebracht werden. Die Funktion des Gerätes beruht auf dem bewährten Prinzip der temperaturabhängigen Ausdehnung einer Meßflüssigkeit, die sich in einem zylindrischen Meßkörper *M* befindet. Der Meßkörper ist durch eine ebenfalls vollständig gefüllte Kapillarrohrleitung mit einem Federungskörper verbunden, dessen Dehnungen mechanisch auf eine

Schreibfeder *F* übertragen werden, die die Aufzeichnung in der üblichen Weise auf einer mit Papier bespannten Schreibtrommel *T* bewirkt. Mit dem Kapillarrohr (Fernleitung) ist unlösbar eine zweite Leitung verbunden, die aber blind verläuft, also mit dem Thermometerkörper *M* nicht in Verbindung steht, während sie am anderen Ende einen zweiten Federungskörper besitzt, der dem ersten entgegenwirkt. Für die Temperatureaufzeichnung ist nur das Meßgerät *M* maßgebend. Die Leitung kann ohne Beeinträchtigung der Genauigkeit bis zu einer Länge von 40 m ausgeführt werden.

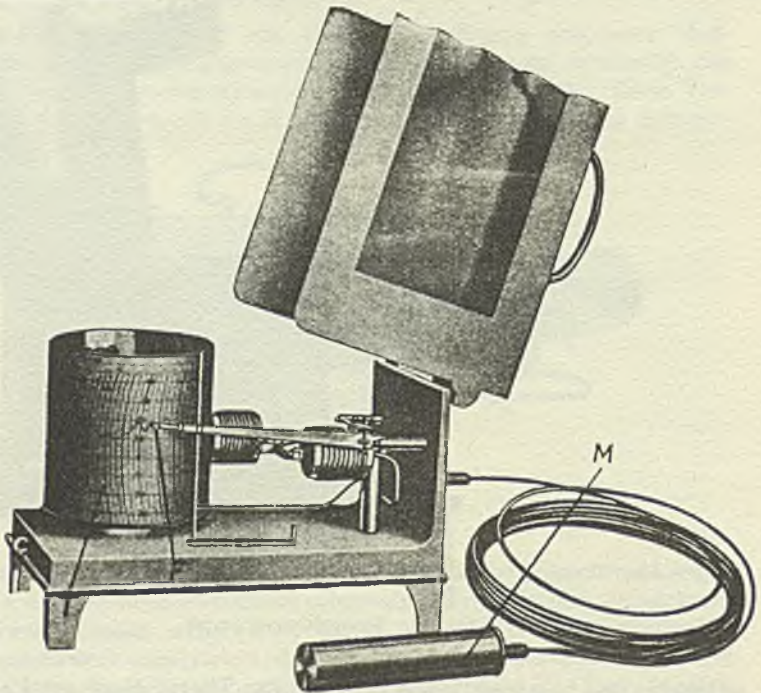


Abb. 77. Fernthermograph.

Der Fernthermograph kann also außer zu Kanallufttemperaturmessungen auch zu Raumlufitemperaturmessungen herangezogen werden. Man kann z. B. an geeigneter Stelle das Gerät aufstellen und das Meßgerät *M* von einem Raum, nach erfolgter Messung, zum nächsten verlegen, so daß eine Raumlufitemperatur nach der anderen gemessen werden kann. Gegenüber dem gewöhnlichen Thermometer haben alle schreibenden Temperatur-Meßgeräte den Vorteil, daß die Temperatur nicht als Momentwert abgelesen werden muß, sondern die Temperatur direkt fortlaufend und selbsttätig aufgezeichnet wird.

Da man bei größeren und auch bei kleineren Anlagen eine entsprechende Schalttafel anbringen wird, die eine gute Übersicht über sämtliche Meßgeräte, und zwar von einer zentralen Stelle aus bezwecken soll, werden im folgenden die hier zum Einbau gelangenden Temperaturmeßgeräte besprochen. Außer letzteren Geräten wird man natürlich, um auch eine richtige Betriebsüberwachungs-Schalttafel zu erhalten, noch andere, wie z. B. Feuchtigkeitsmesser, Druckmesser, Betriebssignale und Betriebsanzeigelampen einbauen, die an anderer Stelle auch noch besprochen werden. Ergänzend sei noch gesagt, daß die beschriebenen Thermographie sich für den Einbau in die Schalttafel nicht eignen, da in den meisten Fällen zur Messung der Raumluft- oder auch Kanallufttemperaturen eine Fernmeßanlage erforderlich ist, wozu die Thermographie nicht geeignet sind. Letztere finden besonders dann Anwendung, wenn eine nur auf einige Räume beschränkte Fernmeßanlage eingebaut worden ist, so daß die Zwischenräume mit einem Thermographen gemessen werden müssen. Nützlich kann letzteres besonders sein, um bei der Betriebsabnahme die Anzeigetemperaturen der Fernmeßanlage zu kontrollieren.

Die „Fernmeßanlagen für Temperaturen“ können für alle praktisch vorkommenden Entfernungen ohne Schwierigkeiten benutzt werden. Diese erlauben, mehrere Meßstellen anzubringen, und zwar so, daß die Raumtemperaturen von einer Stelle aus (Abb. 79), wahlweise übersehen werden können. Als Ferngeber dient hierzu ein elektr. Widerstandsthermometer (Abb. 79). Zur Übertragung des Meßwertes auf das Anzeigementruent benutzt man vielfach die sogenannte Brücken-Kreuzspulschaltung.

Vielfach genügt es, wenn die einzelnen Meßstellen in den Kanälen und in den Räumen der Reihe nach von Zeit zu Zeit gemessen werden, nur ein Anzeigementruent einzubauen. Man braucht daher nicht für jede einzelne Meßstelle ein besonderes Anzeigementruent, sondern benutzt Umschalter für mehrere Meßstellen, was aus Abb. 78 ersichtlich ist²⁰). Für die Meßstellen 1 bis 10 (Abb. 78) ist eine Skala außerhalb des Zeigerrades angeordnet. Will man nun die im Raum z. B. Nr. 8 herrschende Raumlufttemperatur messen, dann stellt man das Zeigerrad (Wähler) auf Nr. 8 und sofort, ohne jegliche Wartung, zeigt das Anzeigementruent die genaue Raumlufttemperatur an. Nach der Messung ist das Anzeigementruent wieder zu entlasten, d. h. das Zeigerrad ist auf Stellung „Null“ zu drehen.

Will man nun aber die Temperaturen, wie z. B. die der Zuluft, Abluft oder der Raumluft registriert haben, kann man selbsttätige Temperaturschreiber, die sogenannten Punktschreiber einbauen. Diese dienen also, wie eben erläutert, zur fortlaufenden Aufzeichnung der Temperaturen. Um nun die Temperaturen der verschiedenen Meßstellen unterscheiden zu können, sind die Auf-

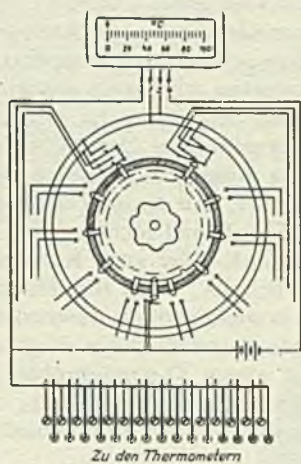


Abb. 78. Meßstellenumschalter für 10 Meßstellen.



Abb. 79. Widerstandsthermometer.

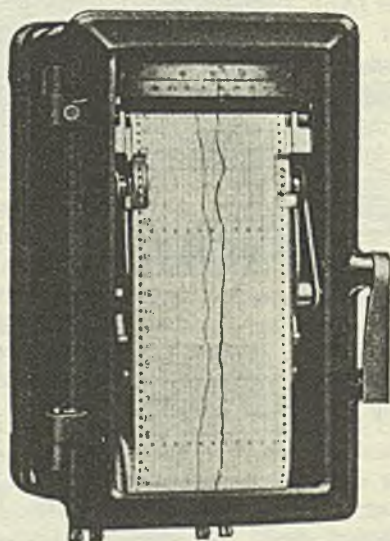


Abb. 80. Zweifarbenschreiber.

zeichnungen durch verschiedene Farben voneinander zu unterscheiden. Die Aufzeichnung wird durch einen Fallbügel bewerkstelligt, den der auf der Achse des Drehspulsystems angeordnete Schreibarm in regelmäßigen Zeitabständen auf das Schreibband drückt. Durch Zwischenschaltung eines Farbbandes entsteht somit eine aus einzelnen Punkten zusammengesetzte Kurve. Der ablaufende Streifen läuft in eine im Gehäuseunterteil angeordnete Auffangschale; er kann also regelmäßig abgeschnitten werden, um handliche Diagramme gleicher Größe zu erhalten.

Schreibband und Fallbügel werden durch einen Synchronmotor betätigt.

2. Die Feuchtigkeits-Meßgeräte.

Parallel zur Temperatur muß, um die Betriebsüberwachung entsprechend zu gestalten, auch die Feuchtigkeit gemessen werden, denn, wie schon öfters betont, ist die Feuchtigkeit genau wie die Temperatur der Luft bei Klimaanlageanlagen von großer Bedeutung.

Als Meßelement für die Bestimmung der Luftfeuchte behauptet das Haarhygrometer nach wie vor das Feld. Die unbestreitbaren Vorzüge, die es beispielsweise gegenüber der psychrometrischen Methode (Bestimmung der Feuchte aus der Differenz eines trockenen und eines feuchten Thermometers) auszeichnen, sind mehrfacher Art und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Das Haarhygrometer gibt die relative Feuchte unmittelbar an, d. h. also, es erfolgt eine direkte Angabe des Wasserdampfgehaltes in Prozenten desjenigen Betrages, den die Luft bei der herrschenden Temperatur höchstens aufnehmen könnte. Die Genauigkeit der Messung ist praktisch unabhängig von der Höhe der Temperatur.

Abb. 81 zeigt ein einfaches Wandhygrometer mit einer Skaleneinteilung von 0 bis 100% relativer Feuchtigkeit. Für Momentmessungen eignen sich diese sehr gut und bedürfen fast keiner Wartung.

Will man nun hier, wie die Temperatur, auch die Feuchtigkeit registrierend messen, so kann man sich des „Hygrographen“ bedienen. Als Meßelement dient bei diesem ein Bündel besonders präparierten Menschenhaars, welches die Eigenschaft hat, sich bei Zunahme der Feuchte zu verlängern und bei Abnahme zu verkürzen. Das Haarbündel ist durch ein Hebelsystem mit dem Schreibarm verbunden. Zur Messung der Feuchtigkeit wird nun das Gerät betriebsfertig, also mit gefüllter Schreibfeder und aufgezogenem Uhrwerk, in die zu messende Luft gestellt. Für die Umlaufzeit der Schreibtrommel gilt das bei den Thermographen Gesagte. Für die Messung der Feuchtigkeit der Luft in Kanälen kann man sich des sogenannten Stengelhygrographen bedienen, welches die gleichen Vorteile hat, wie das Stengelthermograph.

Fernmeßanlagen für Feuchtigkeit.

Genau wie man die Temperaturen in einzelnen Räumen von der Schalttafel aus messen kann, kann man auch die Feuchtigkeit messen. Da die Temperatur den Raumlufzustand nicht eindeutig bestimmt, ist es sehr wünschenswert, auch die jeweilige Feuchtigkeit der Raumluf auf diese bequeme Art messen zu können.

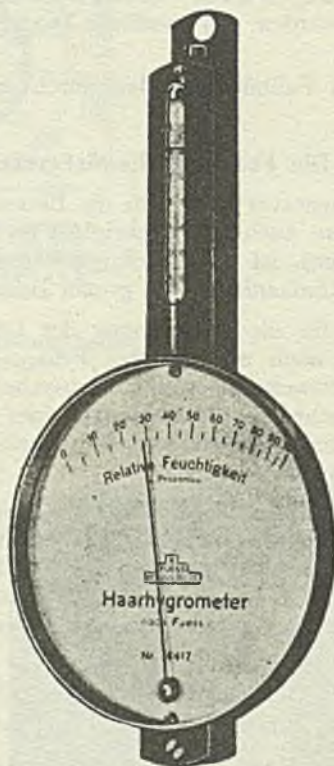


Abb. 81. Wandhygrometer.

Für die elektrische Fernübertragung wurde ein induktives System gewählt, das ohne Schleifbürsten, Widerstandswalzen und stromführende bewegte Teile arbeitet. Auf diese Weise ist eine Rückwirkung des Ferngebers auf das Meßelement durch veränderliche Reibungswiderstände ebenso ausgeschaltet, wie eine Störung der elektrischen Übertragung infolge Änderung von Übergangswiderständen durch Verschmutzung, Korrosion, Funkenbildung oder Kondensation des Wasserdampfes. Als Ausdehnungskörper dient ein harfenartig gespannter Haarstrang *H*, dessen freies Ende an einem auf einer Drehachse

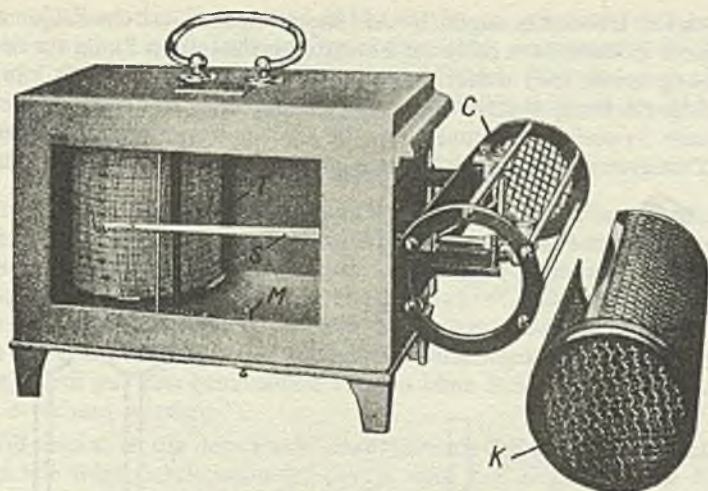


Abb. 82. Hygrograph.

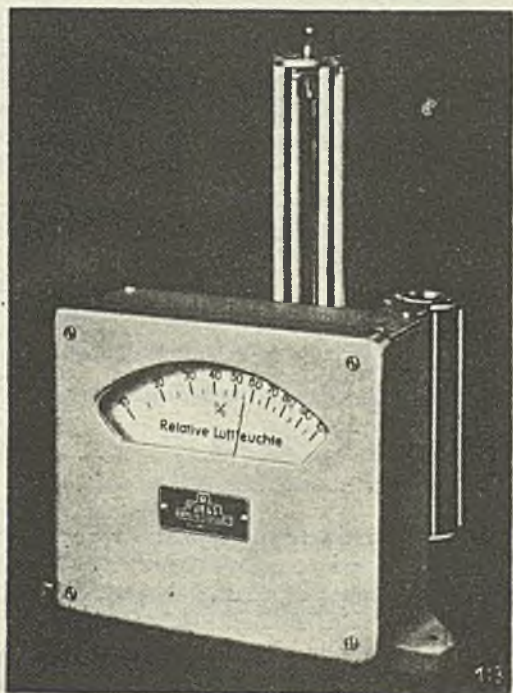


Abb. 83. Ferneber.

Abbildungen 75, 76, 77, 81, 82, 83, 84, 85 wurden mir gütigst von der Firma R. Fuess, Berlin-Steglitz, zur Verfügung gestellt.

befestigten Hebelarm angreift. Auf dieser Achse sitzt ein Zeiger *Z*, der von einer in Prozenten relativer Feuchtigkeit geteilten Skala für örtliche Ablesung spielt, und weiterhin ein ringförmiger Eisenkern *E*. Je nach der Zeigerstellung taucht dieser Kern mehr oder weniger in eine feststehende Transformatorspule ein, die zwei getrennte Wicklungen hat. Die Primärwicklung *P* wird durch einen Spezialumformer *U* für An-

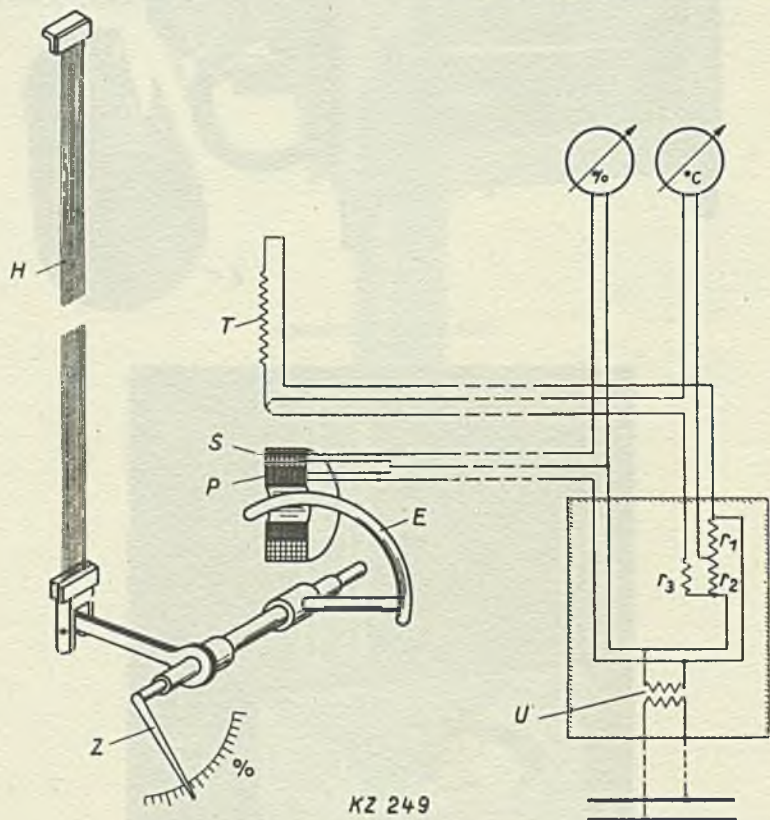


Abb. 84. Schema einer Fernmeßanlage.

schluß an Wechsel- oder Drehstrom gespeist, der die Netzspannung auf etwa 54 Volt herabsetzt und zugleich Spannungsschwankungen kompensiert, so daß sie ohne Einfluß auf die Messung bleiben. Je nach der Stellung des Eisenkerns wird in der Sekundärwicklung *S* der Transformatorspule eine höhere oder niedrigere Klemmenspannung erzeugt. Diese wird durch zwei Kabeladern auf ein Präzisions-Voltmeter übertragen, dessen Skala direkt in Prozenten relativer Feuchte geteilt ist (Anzeigegerät in der Schalttafel).

Der Aufbau des Ferngebers (Abb. 83) ist so gehalten, daß einerseits alle empfindlichen Teile gut geschützt sind, andererseits die freie Belüftung der Meßelemente nicht behindert wird. Der innere Aufbau des Ferngebers ist weiter oben beschrieben und läßt sich aus der Abb. 84 erschen.

3. Die Luftgeschwindigkeits-Meßgeräte.

Um die Leistungen einer Klimaanlage feststellen zu können, müssen die jedem einzelnen zu klimatisierenden Raum zugeführten Luftmengen gemessen werden. Zur Messung dieser Luftmengen eignet sich besonders gut das sogenannte „Flügelrad-Anemometer“. Dieses Gerät zeigt jedoch nicht die Luftmenge, sondern die Luftgeschwindigkeit an. Da jedoch die Luftaustritts- oder Lufteintrittsöffnungen gemessen werden können, kann mit den gemessenen Werten ohne Schwierigkeit die Luftmenge errechnet werden.

Will man z. B. die dem Raum zuzuführende Zuluftmenge ermitteln, ist dies wie folgt durchzuführen: Zuerst wird der Zeiger auf die Null-Stellung gebracht. Nun hält man das Anemometer vor die Zuluft-Öffnung und mißt, nachdem das Flügelrad in Bewegung ist, die während einer Minute sich ergebende Gesamtgeschwindigkeit. Dabei ist es zweckmäßig, um wirklich auch eine mittlere Geschwindigkeit zu erhalten, das Anemometer in der Längsrichtung der Zuluft-Öffnung hin und her zu bewegen, außerdem muß darauf geachtet werden, daß man nicht direkt hinter dem Anemometer steht, denn dadurch wird hinter dem Anemometer ein Stau erzeugt, durch welchen die Messung ungenau werden kann. Der so — also in einer Minute — ermittelte Wert gibt dividiert durch 60 die mittlere Geschwindigkeit der Luft in m/sec an.

Zum Beispiel:

$$\text{Zuluftöffnung } F = 1,0 \cdot 0,5 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2,$$

$$\text{Meßwert mit Anemometer } A = 90,$$

die mittlere Geschwindigkeit ergibt sich nun zu

$$V = \frac{90}{60} = 1,5 \text{ m/sec},$$

und die stündliche Luftmenge V zu

$$V = v \cdot F \cdot 3600 \text{ in m},$$

$$\text{also } V = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 3600 = 2700 \text{ m}^3,$$

oder einfacher gerechnet

$$V = A \cdot F \cdot 60 \text{ in m}^3/\text{h} \tag{55}$$

$$V = 90 \cdot 0,5 \cdot 60 = 2700 \text{ m}^3/\text{h}.$$

In diesen Gleichungen bedeuten:

V = Luftmenge in m^3/h ,

A = Meßwert des Anemometers

60 = Zeitumrechnungsfaktor,

v = Luftgeschwindigkeit in m/sec .

Der Meßbereich dieser Anemometer liegt praktisch innerhalb 0,5 bis 25 m/sec . Zur Messung kleinerer Luftgeschwindigkeiten ist es zweckmäßig, sich des Katathermometers zu bedienen. (Siehe unter Katathermometer.) Ausschließlich zur Messung kleinerer Luftgeschwindig-

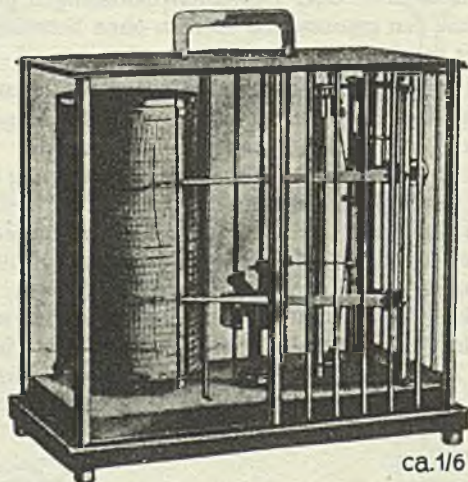


Abb. 85. Thermohygrograph.

keiten steht uns noch das sogenannte Hitzdraht-Anemometer zur Verfügung. Da für unsere Zwecke die ersteren zwei Meßgeräte genügen, sei von einer eingehenden Beschreibung des Hitzdraht-Anemometers abgesehen.

Neben den transportablen Thermographen und Hygrographen gibt es auch noch sogenannte Thermohygrographen, worauf noch kurz hingewiesen wird. Der Aufbau dieser geht aus Abbildung 85 hervor. Die Wirkungsweise ist hierbei genau so, wie diese bei den einzelnen erläutert wurde.

Diese eignen sich besonders dann sehr gut, wenn man außer der Temperatur auch die Feuchtigkeit der Luft zur gleichen Zeit messen will. Thermohygrographen zeichnen also zugleich Temperatur und

Feuchtigkeit auf. Die Thermohygrographen werden in verschiedenen Bauformen hergestellt. Doch arbeiten die meisten nach dem gleichen Prinzip, wie die beschriebenen.

Meines Erachtens gehört zu jeder Klimaanlage ein solches Gerät, damit auch die in der Schalttafel eingebauten Temperatur- und Feuchtigkeitsanzeiger von Zeit zu Zeit auf ihre Anzeigegenauigkeit geprüft werden können.

4. Die Überwachungs-Schalttafel.

In die Überwachungs-Schalttafeln können außer den erwähnten Geräten noch verschiedene zweckmäßige Anzeige- und Meßgeräte eingebaut werden. Im folgenden werden kurz die in eine Schalttafel einzubauenden Meß-, Regel- und Anlaßgeräte besprochen.

Es empfiehlt sich, zur Überwachung der Gesamtanlage von der Schalttafel aus, folgende Meß-, Regel- und Anlaßgeräte in die Schalttafel einzubauen:

Temperaturanzeigergeräte für Frischluft, Rückluft und Taupunkt.

Feuchtigkeitsanzeigergeräte für Frischluft, Rückluft und Taupunkt.

Schreibendes Temperaturanzeigergerät für die Zuluft der einzelnen Zonen einer Klimaanlage.

Druckknopftaster für Betätigung der Lüfter.

Betriebsleuchten für die Lüfter.

Ampèremeter für die Lüfter.

Voltmeter.

Ferntemperatur-Meßanlage.

Ein- und Ausschalter für die automatische Regelung.

Betätigungsschalter für Umschaltung von Frisch- auf Umluft- bzw. Rückluftbetrieb.

Druckknopftaster für Umwälzpumpe.

Ampèremeter für Umwälzpumpe.

Die hier angeführten Meß-, Regel- und Anlaßgeräte werden hauptsächlich bei größeren Anlagen in die Schalttafel eingebaut. Bei kleineren Anlagen wird man auch mit entsprechend kleineren Schalttafeln auskommen. In Abbildung 86 ist eine solche Schalttafel dargestellt. Die oberste Reihe stellt die Sicherungen, die zweite Reihe von oben die Betriebsleuchten, die dritte Reihe die Druckknopftaster für Ein- und Ausschaltung der Lüfter und der Umwälzpumpe dar. Die zwei Handräder sind die Regulieranlasser für den Abluft- und Frischluftlüfter.

Eine sehr übersichtliche Schalttafel zeigt Abb. 87. Oben links sind ein Fallbügelregler für die Messung und Steuerung der Heizleistung des

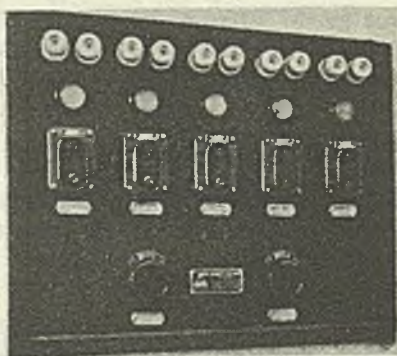


Abb. 86. Schalttafel für Klein-Klimaanlage.
(Werkfoto Schobel, München)

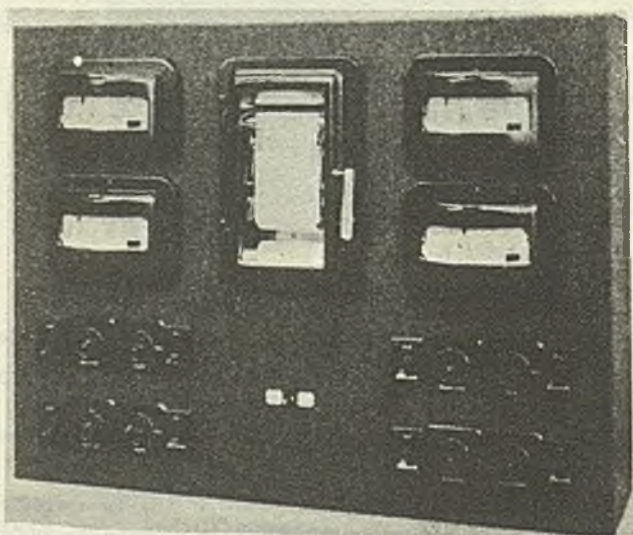


Abb. 87. Schalttafel mit Kleinregler zur Steuerung einer Klimaanlage und Schreibgerät zur Aufzeichnung der Raumtemperatur und Raumfeuchtigkeit.
(Werkfoto Hartmann & Braun)

Luftvorerwärmers und unten links ein Fallbügelregler zur Steuerung und Einhaltung des Taupunkts eingebaut. In der Mitte der Schalttafel

erkennt man das Schreibgerät, welches zur Aufzeichnung der Raumlufttemperatur- und -Feuchtigkeit dient. Auf der rechten Seite sind zwei Fallbügelregler angeordnet, oben zur Messung und Steuerung der Zuluftkanaltemperatur und unten zur Messung und Steuerung der Raumlufttemperatur. Endlich erkennt man auf der Schalttafel unten links und rechts die Ein- und Ausschalter für die einzelnen Reglergruppen.

Eine weitere Schalttafel für eine Komfort-Klimaanlage größeren Ausmaßes zeigt Abb. 88. Die eingangs erwähnten Meß- und Anzeigergeräte, die zur übersichtlichen Überwachung einer Anlage erforderlich sind, sind in dieser Schalttafel sehr übersichtlich und so angeordnet, daß

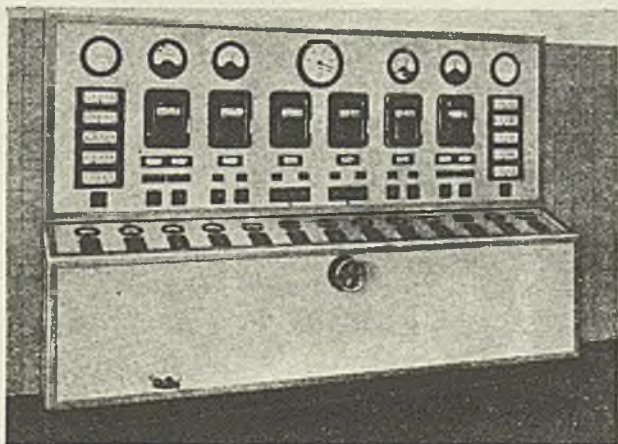


Abb. 88. Schalttafel für eine Klimaanlage eines Verwaltungsgebäudes.
(Werkfoto Hartmann & Braun)

das Ganze den Stand der heutigen Technik repräsentiert. Unten sind die verschiedenen Ein- und Ausschalter mit den dazugehörigen Ampèremetern für die Lüfter u. a. m. ersichtlich. Links und rechts und in der dritten Reihe der senkrechten Schalttafelwand sind die Anzeigergeräte für Temperatur und Feuchtigkeit eingebaut. Weiter erkennen wir in der Mitte der Schalttafel die sechs Fallbügelregler zur Messung und insbesondere Steuerung der Temperatur und Feuchtigkeit. Ganz oben sind außerdem Volt- und Ampèremeter eingebaut.

Abb. 89 zeigt die Rückseite der in Abb. 88 dargestellten Schalttafel. Hier sind die zur Regelung und Steuerung erforderlichen Verstärker, Relais und Gleichrichter angebracht. Außerdem sind die elektrischen Leitungen aus der Abbildung ersichtlich. Über diese

braucht nichts gesagt zu werden, denn sie gehören zum Arbeitsgebiet des Elektrikers. In den meisten Fällen werden diese Geräte, welche für die Schalttafel erforderlich sind, von der Klimafirma mitgeliefert und von

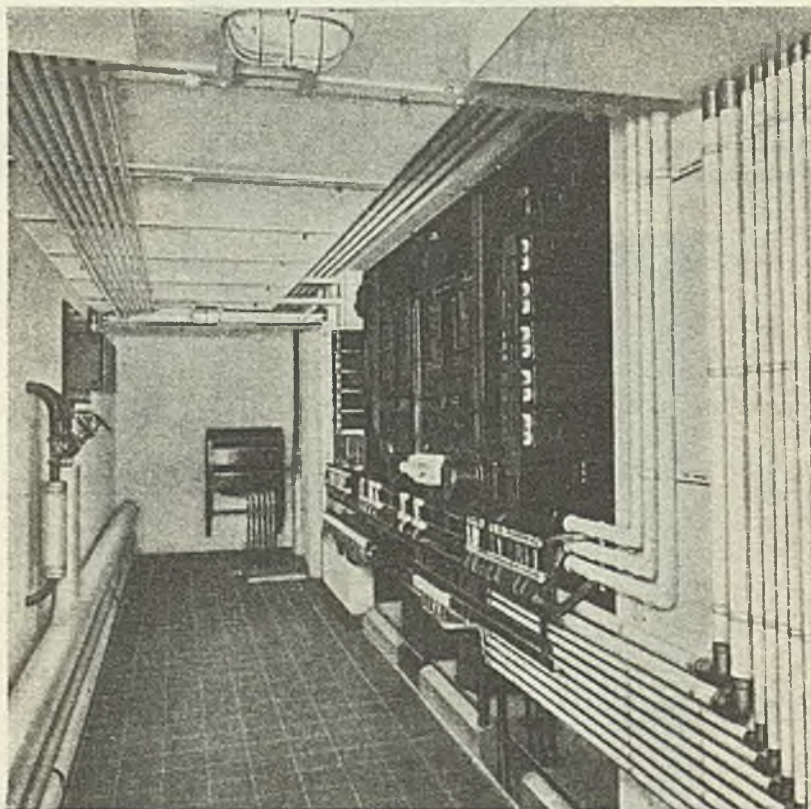


Abb. 89. Rückseite der in Abb. 88 dargestellten Schalttafel.

(Werkfoto Hartmann & Braun)

ortsansässigen Elektrikern nach den Angaben eingebaut und verdrahtet. Die in eine Schalttafel einzubauende Anzahl von Meß- und Anzeigeräten ist von deren Größe und nicht zuletzt von den zur Verfügung stehenden Geldmitteln abhängig. In vielen Fällen wird man sich aus finanziellen Gründen mit kleineren Schalttafeln begnügen und nur die allernötigsten Meß- und Anzeigeräte in einer solchen zusammenfassen.

VII. Abschnitt.

Regler und Regelung in Klimaanlage.

Die Regelung ist das Herz einer Klimaanlage. Ein nicht einwandfrei arbeitender Regler kann den ganzen Betrieb aus dem Gleichgewicht bringen. Aus diesem Grunde sollen nur erprobte Regelorgane verwendet werden. Damit eine Anlage die ihr gestellte Aufgabe zur vollen Zufriedenheit erfüllt, ist es erforderlich, die Regelung selbsttätig vorzusehen, denn es ist praktisch gar nicht möglich, die zahlreichen Ventile und Klappen einer Klimaanlage derartig genau und sicher mit der Hand zu bedienen, daß Temperatur und Feuchte im Raum in den vorgeschriebenen engen Grenzen gehalten werden. Außerdem wäre eine solche Bedienung, wenn sie versucht werden würde, viel zu kostspielig. Die Anschaffungskosten selbsttätiger Regelungen sind zwar nicht unerheblich, doch machen sie sich durch Ersparnis an Betriebskosten recht bald bezahlt.

Die Regelung einer Klimaanlage besteht nun aus mehreren Regelsystemen, und jedes Regelsystem aus drei Elementen, und zwar dem Fühlorgan, dem Verstärker und dem Regelorgan selbst. Dem Fühlorgan fällt die Aufgabe zu, den Luftzustand daraufhin abzutasten, ob er mit dem Sollwert übereinstimmt. Für die bei Klimaanlage in Frage kommenden Luftzustandsgrößen, nämlich Temperatur und Feuchte, werden in der Hauptsache zwei Arten von Fühlorganen verwendet. Erstens die Thermostate, die auf Temperaturänderungen (Wärme) und zweitens die Hygrostate, die auf Feuchtigkeitsänderungen der Luft ansprechen. Alle Fühlorgane geben bei Abweichung der Temperatur oder Feuchtigkeit vom Sollwert einen Impuls an das Regelorgan, durch das eine Verstellung von Luftklappen oder Ventilen in der Weise erfolgt, daß der Sollzustand der Luft wieder hergestellt wird. Die Konstruktion der Thermostate beruht meist auf der physikalischen Erscheinung, daß sich Körper unter dem Einfluß von Wärme ausdehnen. Abbildung 90 zeigt einen elektrischen Thermostaten, welcher in Luftkanäle und in das Klimagerät selbst zum Einbau gelangt. Der Thermostat (auch Temperatur-Relais genannt) besteht aus einem Fühler und einer Schaltvorrichtung. Der Fühler wird durch das sich unter Wärmeeinwirkung stark ausdehnende Fühlrohr 2 und den sich wenig ausdehnenden Stab 1 gebildet, die im Boden 3 fest miteinander verbunden sind.

Das Fühlrohr 2 sitzt im Fühlschaft 5. Der Stab 1 trägt am oberen Ende die Laterne 6, in die die Stellspindeln 13 mit der Skalenscheibe 7 eingeschraubt sind.

Die Schaltvorrichtung umfaßt den im Spitzenlager 8 ruhenden Kontakthebel 9 mit dem Doppelkontakt 10 und dem auf der Grundplatte 4 befindlichen Minimalkontakt 12. Eine Feder drückt den Kon-

taktgeber 12 gegen die Stellschraube 14, mit der Skalenscheibe 15 wird über die Stellschraube 14 die gewünschte Temperaturdifferenz zwischen Minimalkontakt 11 und Maximalkontakt 12 eingestellt. Bei Unter-temperatur hält eine Druckfeder die Kontakte 10, 11 in Ruhelage geschlossen. Steigt die Temperatur, so dehnt sich das Fühlrohr 2 über den Stab 1, die Laterne 6 und die Stellschraube 13 drückt es auf den Kontakt- hebel 9, dreht ihn um das Spitzenlager 8 und trennt damit die Minimal- kontakte 10 und 11. Bei einem weiteren Steigen der Temperaturen berührt der obere Kontakt 10 den Maximalkontakt 12.

Die Skalenscheibe 7 kennzeichnet die Temperatur, bei der die Minimalkontakte 10 und 11 sich trennen, während die Skalenscheibe 15 die Temperaturdifferenz bis zum Einschalten der Maximalkontakte 10 und 12 angibt. Demgemäß schalten jeweils die Maximalkontakte 10 und 12 bei einer um die Temperaturdifferenz gegenüber der Skalenscheibe 7 erhöhten Temperatur ein. Die beiden den Skalenscheiben zugeordneten Zeiger lassen die jeweils eingestellte Temperatur bzw. Temperatur- differenz genau erkennen. Beide Skalenscheiben sind nach Celsius- Graden geeicht, und zwar die Scheibe 7 im Bereich 10 — 30° C und die Scheibe 15 von 0 bis 30° C. Der Thermostat ist so einzubauen, daß sich der Fühler mit seiner wirksamen Länge (meist 200 mm) zuzüglich 50 bis 100 mm je nach der Höhe der Betriebstemperatur innerhalb des be- heizten bzw. gekühlten Raumes befindet.

Die Lage des Fühlers ist so zu wählen, daß er von allen Seiten von der Wärme bzw. Kälte gut beeinflußt wird, jedoch vor direkter Aus- strahlung z. B. durch Heizkörper, Sonne oder dergleichen geschützt ist. Der Abstand von Wänden darf 15 mm nicht unterschreiten und muß besonders bei niedrigen Temperaturen größer gewählt werden. Weiter ist auf die freie Ausdehnung des Fühlers Rücksicht zu nehmen!

Demgemäß müssen Bohrungen mindestens 1 mm größer im Durch- messer und ca 10 mm tiefer als die Fühlerlänge ausgeführt werden. Der Raumtemperatur-Thermostatregler findet zur genauen Tempe- ratureinhaltung in Wohn- und Büroräumen Verwendung, bei denen besonderer Wert auf unauffälligen Einbau gelegt wird und nur wenig Raum zur Verfügung steht

Er eignet sich in gleicher Weise für die Steuerung der verschiedensten Beheizungsarten wie Elektrizität, Warmluft, Warmwasser, Gas und Öl.

Beschreibung.

Im Raumtemperaturregler ist ein wärmeempfindlicher Bimetall- streifen 8 angeordnet, der sich bei Temperaturerhöhung krümmt. An dem einen Ende ist er auf dem Tragbalken 2 befestigt, der in den Spitzen 3 drehbar gelagert ist und durch die Feder 1 sowie die Stellspindel 6 in seiner Lage gehalten wird.

Das freie Ende des Bimetallstreifens 8 trägt das Ankerstück 13 aus Weicheisen mit zwei einstellbaren Polschrauben 12, die vor den Schenkeln des permanenten Magneten 9 stehen.

Die Bewegung des Ankerstückes 13 wird einerseits durch den Anschlag 10 begrenzt, andererseits durch den Kontaktabstand des im Ankerstück isoliert eingesetzten Kontaktes 14 und des auf der Brücke 11 angeordneten Gegenkontaktes 15.

Die Kontakte 14 und 15 werden von der Staubschutzhaube 16 umschlossen.

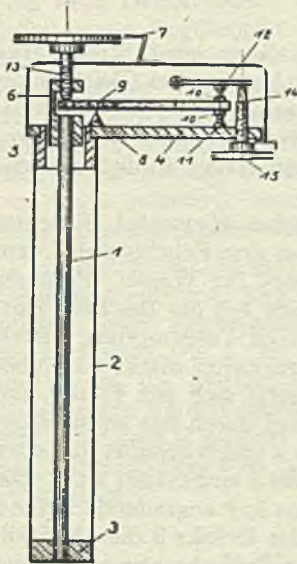


Abb. 90. Elektr. Thermostat.

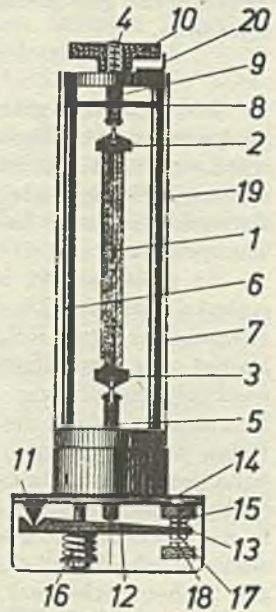


Abb. 91. Elektr. Hygrostat.

Die Temperatureinstellung erfolgt durch die in der Brücke 7 sitzende Steilspindel 6 in Verbindung mit dem Stellknopf 5. Der auf der Abdeckhaube angeordnete Zeiger 4 läßt die jeweils eingestellte Regeltemperatur erkennen.

Wirkungsweise.

Im Ruhezustand sind die beiden Kontakte 14 und 15 geschlossen, so daß die Heizung eingeschaltet ist. Die Raumtemperatur steigt daraufhin und läßt das Bimetall 8 sich im Uhrzeigersinne krümmen. Bei Erreichen der eingestellten Regeltemperatur überwiegt die Magnetkraft die Kraft des Bimetalles, so daß die Kontakte 14 und 15 ruckweise trennen und damit die Heizung abschalten.

Die danach sinkende Raumtemperatur läßt das Bimetall 8 sich wieder strecken. Dadurch wächst seine Kraft, und das Ankerstück 13 wird ruckweise vom Magneten entfernt, wobei die Kontakte 14, 15 wieder einschalten.

Ansprechgenauigkeit.

Diese läßt sich durch die Einstellung der Luftspalte zwischen den Magnetschenkeln und den Polschrauben einerseits und dem Schaltweg zwischen den getrennten Kontakten andererseits von $\pm 0,2^\circ \text{C}$ aufwärts einrichten.

Schaltleistung.

Die Kontakte gestatten die direkte Schaltung einer Stromstärke bis 1 Ampère, bei Wechselspannungen bis 0,2 Ampère, bei Gleichstromspannungen bis 250 Volt. Die Hygrostate benutzen als feuchtigkeitsempfindliche Elemente meist Haarbündel, Cellophon und andere hygroskopische Körper. Im übrigen ist die Konstruktion ähnlich der der Thermostate.

In Abbildung 91 ist ein sehr gebräuchliches Hygrostat (Feuchte-regler) dargestellt. Die Regelanlage besteht aus dem Feuchteregler, dem Fernschalter bzw. Relais und dem Regelventil für Wasser, Preßluft, Dampf oder dem Klappenversteller je nach der Art der Be- bzw. Entfeuchtungseinrichtung. Bei Befeuchtung durch Verdampfung mittels Heizpatrone erfolgt die Schaltung durch Fernschalter direkt oder über Relais auf ein Schütz. Der Feuchteregler setzt sich aus Fühler und Schaltvorrichtung zusammen. Der Fühler wird durch das feuchteempfindliche Haarbündel 1 mit den Klemmleisten 2 und 3 gebildet, die oben in die Stellschraube 4 und unten in den Stößel 5 eingehängt sind. Die Stellschraube 4 wird durch die an den Streben 6, 7 angreifende Brille 8 am Drehen verhindert und trägt oberhalb der Brücke 9 die als Stellmutter ausgebildete Skalenscheibe 10, die die Stellschraube 4 auf- und abwärts bewegt. Der Stößel 5 spannt das Haarbündel 1 in senkrechter Richtung. Der Schutzkorb 19 sichert es gegen Beschädigungen.

Die Schaltvorrichtung umfaßt den im Spitzenlager 11 ruhenden Kontakthebel 12 mit dem Kontakt 13 und den Gegenkontakt 15 auf der Grundplatte 14. Die Druckfederanordnung 16 hält in der Ruhelage beide Kontakte geschlossen.

Wirkungsweise.

Solange die relative Luftfeuchte unter dem eingestellten Regelwert liegt, sind die Kontakte 13, 14 geschlossen. Somit erhält der Fernschalter Strom und schaltet beispielsweise die Düsen ein, wodurch von der Luft Wasser aufgenommen wird. Die Luftfeuchte steigt und läßt das Haarbündel 1 sich ausdehnen. Bei Erreichen des Regelwertes drückt der Stößel 5 auf den Kontakthebel 12 und trennt das Kontaktpaar 13, 15.

Der Fernschalter wird stromlos und unterbricht die Befeuchtung. Damit hört die Feuchtigkeitszufuhr auf. Die absinkende Luftfeuchte läßt das Haarbündel 1 sich verkürzen, der Stößel 5 wandert nach oben und der Kontakthebel 12 schließt die beiden Kontakte. Das Arbeitsspiel beginnt von neuem. Den zweiten Hauptbestandteil bildet der Verstärker. Da die Kräfte, die an den Fühlorganen bei Abweichung des Raumluftzustandes von dem eingestellten Wert auftreten, nicht denjenigen entsprechen, die zur Verstellung des Regelorganes notwendig sind, ist eine Verstärkung der Energie erforderlich. Bei Klimaanlageanlagen bedient man sich zur Verstärkung dieser Energie elektrischen Stromes, Druckluft oder auch Druckwasser. Da die Druckluft-Regelorgane genau wie die Druckwasser-Regelorgane konstruiert sind und betätigt werden, unterscheidet man daher im wesentlichen die Druckluft- und elektrische Regelanlagen. Bei Druckluft-Regelanlagen benötigt man zur Erzeugung der erforderlichen Druckluft von etwa 1 atü einen besonderen Luftkompressor, währenddem bei hydrantischen Regelanlagen die gemeindliche Wasserleitung, welche in den meisten Fällen einen Betriebsdruck von 1 atü aufweist, benutzt wird. In vielen Fällen müßte sogar ein Wasserdruck-Reduzierventil eingebaut werden.

Die Regelorgane sind nun schließlich der dritte Hauptbestandteil. Diese sind entweder Regelventile zur Steuerung des Heiz- oder Kühlmittels, oder Regelmotore zum Antrieb von Luftklappen. Hierbei unterscheiden wir 1. die Regelorgane, welche durch Elektromotore, und 2. die, die hydrantisch oder pneumatisch gesteuert werden. Die Regelorgane werden durch den Impulsstrom, welcher von dem Thermostat oder dem Hygrostat ausgeht, betätigt. Je nach der Abweichung des Luftzustandes vom Sollwert werden die Regelorgane geöffnet oder geschlossen.

1. Die elektrische Regelanlage.

Das Motorventil ist ein elektrisch betätigtes Regel- bzw. Absperrventil. Es dient zur selbsttätigen Regelung des Durchflusses von Flüssigkeiten, Gasen und Dämpfen in Abhängigkeit von Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Konzentration, Flüssigkeitsstand und dergl. oder zur Fernsteuerung durch Druckknöpfe von Hand. Durch die besondere Anordnung bleibt das Ventil in jeder Stellung stehen und fährt aus jeder Stellung an, beschränkt sich also nicht auf reines Öffnen und Schließen.

Das Motorventil besteht aus dem Antriebsmotor mit Untersetzungsgetriebe und dem Ventil mit Spindelanordnung (Abb. 92).

Der Motor 1 ist ein kräftiger, umsteuerbarer, bürstenloser Wechselstrommotor mit Wälzlager.

Das Untersetzungsgetriebe 2 setzt die Motordrehzahl mittels starker Zahnräder herunter. Alle Wellen laufen in Kugellagern. Die End-

ausschalter 3 werden durch ein vom Getriebe 2 bewegtes Schaltrad 4 gesteuert und von zwei einstellbaren Nocken 5 ausgelöst. Sie schalten den Motor 1 in den Endstellungen des Ventiles ab.

Die Spindelanordnung umfaßt die Flachgewindespindel 6 im Spezialkugellager 7 und die durch die beiden Säulen 8 geführte Mutter 9. Diese setzt die Drehbewegung der Spindel 6 in Längsbewegung um und bewegt die Ventilspindel 10 mit dem Ventilteller 11. Bei Ventilschluß wird in der glockenartig ausgebildeten Führungsmutter 9 nach Aufsetzen des Ventiltellers 11 auf dem Ventilsitz 12 eine starke Spiralfeder zusammengedrückt, wodurch das Ventil völlig absperrt, ohne daß eine Überlastung des Untersetzungsgetriebes 2 eintritt.

Das Ventil 13 ist ein Flanschventil mit Gehäuse aus Gußeisen oder Stahlguß, Sitz und Teller aus Rotguß bzw. V2A. Die erste Anordnung wird für Betriebsdrücke bis 12 atü, die zweite für höhere Drücke, überhitzten Dampf und Heißwasser (über 100° C) verwendet. Für Sole erhält der Ventildeckel eine aufgegossene Tasse zur Aufnahme von Glycerinfüllung, um das Reiben der Spindel zu verhindern. Für die Mischung von Flüssigkeiten werden Dreivegeventile vorgesehen.

Wirkungsweise.

Der Antriebsmotor 1 dreht über das Untersetzungsgetriebe 2 die Arbeitsspindel 6 beispielsweise im Uhrzeigersinne. Dadurch verschiebt sich die Führungsmutter 9 nach oben und hebt den Ventilteller 11 vom Sitz 12. Nach voller Öffnung setzt der zugehörige Endschalter 3 den Motor still, so daß das Ventil geöffnet bleibt. Nunmehr läßt sich der Motor nur in umgekehrter Drehrichtung wieder einschalten. Die Arbeitsspindel 6 dreht dann entgegengesetzt dem Uhrzeigersinne und schraubt die Mutter 9 nach unten. Die Ventilspindel 10 mit dem Ventilteller 11 schließt das Ventil. Der Motor läuft noch etwas nach und spannt die in der Führungsmutter 9 angeordnete Feder vor, bis der erforderliche Schließdruck erreicht ist. Danach wird der Motor von dem zugehörigen Endausschalter stillgesetzt.

Elektrische Steuerung.

Bei selbsttätiger Regelung erfolgt die Steuerung durch einen Fernschalter mit Umschaltekontaktröhre bzw. durch zwei Fernschalter für Mittelstellungen, bei Handbetätigung durch einen Doppeldruckknopf.

Anschluß.

Da der Leistungsverbrauch des Antriebsmotors gering ist, läßt sich das Motorventil an jede mit Wechselstrom gespeiste Lichtnetzleitung anschließen.

Bei Vorhandensein von Gleichstrom ist für bessere Anlagen ein Umformer vorzusehen. Für einfache Zwecke, insbesondere für Fernsteuerung durch Druckknöpfe und dergl. wird das Ventil mit einem Gleichstrommotor mit Spezialbürsten ausgerüstet.

Der Klappenversteller (Abb. 93) umfaßt den Antriebsmotor, die Räderuntersetzung 3 nebst Endausschaltern sowie das Spindelgetriebe mit Gestänge. Der Motor 2 ist ein umsteuerbarer bürstenloser Wechsel-

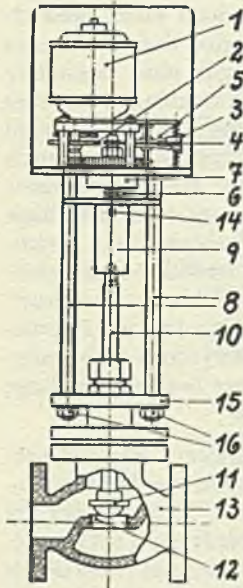


Abb. 92. Elektr. Motorventil.

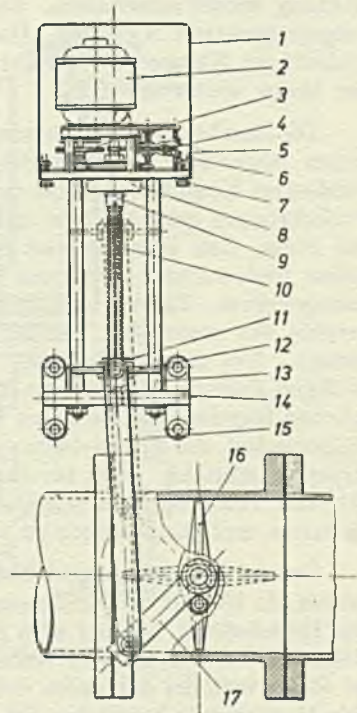


Abb. 93. Elektr. Klappenversteller.

strommotor. Die Endausschalter 5 werden durch ein von der Unter-
setzung 3 bewegtes Schaltrad 4 gesteuert und durch zwei einstellbare
Schaltfinger 6 ausgelöst. Sie setzen den Motor 2 in den Arbeitsendlagen
aus. Das Spindelgetriebe umfaßt die Arbeitsspindel 10 mit dem im
Spezialkugellager 8 laufenden Kreuzgelenk 9 sowie die in der Gleit-
brücke 12 sitzende Arbeitsmutter 11, die durch die beiden Säulen 13
geführt wird. An den beiden Augen der Arbeitsmutter 11 schließt sich
das Gestänge 15, durch welches die Luftklappe betätigt wird, an. Die
Säulen 13 sitzen in der Wandkonsole 14. Der Motorantrieb ist durch

die Schutzhaube 1 staubsicher gekapselt. Diese wird mittels zweier Kordeschrauben 7 an die Grundplatte angepreßt. Der Antriebsmotor 2 läuft links oder rechts herum und dreht über das Untersetzungsgetriebe 3 die Arbeitsspindel 10 beispielsweise im Uhrzeigersinne. Dadurch verschiebt sich das Gestänge 15 nach oben und öffnet mittels des Klappenhebels 17 die Luftklappe 16 solange, bis der zugehörige Endausschalter den Motor 2 stillsetzt und die Klappe 16 in Öffnungsstellung steht. In dieser Endstellung läßt sich der Motor 2 nur in umgekehrter Drehrichtung wieder einschalten. Die Arbeitsspindel 10 dreht sich dann in entgegengesetzter Richtung. Das Gestänge 15 wandert nach unten und schließt die Klappe 16. Bei Erreichen der Schlußstellung schaltet sich der Motor wieder ab.

Die beschriebene elektrische Regelung hat jedoch einen wesentlichen Nachteil. Dieser Nachteil besteht nun darin, daß, wenn das Fühlorgan Kontakt gibt, das dazugehörige Regelorgan ohne besondere Vorkehrungen ganz zu- bzw. ganz aufläuft. Bei Klimaanlageanlagen hat dies zur Folge, daß beispielsweise bei einer Luftheizung ein abwechselnd kalter und warmer Luftstrom in den Raum geblasen wird, wodurch unangenehme Zugscheinungen auftreten. Die Raumtemperatur pendelt mit mehr oder weniger großer Amplitude um eine Mittellage herum. Um diesen Übelstand zu beseitigen und einen mehr gleichmäßigen Zustand der Luft zu erhalten, ist in den Stromkreis der elektrischen Regelung ein durch ein Uhrwerk getriebener „Unterbrecher“ eingeschaltet, der in beliebigen einstellbaren Zeitabständen den Impulsstrom unterbricht. Auch bei dieser Anordnung ist es jedoch nicht möglich, das Ventil oder die Klappe längere Zeit in einer bestimmten Lage zu halten und Pendelungen zu vermeiden.

Das in Abb. 94 dargestellte elektrische Regelsystem ist sehr verbreitet, da hiermit die Pendelungen sehr klein gehalten werden können. Der Impulsstrom, welcher vom Regler ausgelöst wird, betätigt über ein Relais ein motorbetätigtes Ventil oder eine motorbetätigte Luftklappe. Im Relais befindet sich unten der „Fernschalter“, der aus einer durch eine Magnetspule betätigten Schaltzröhre besteht. Der Fernschalter ist ein elektrisches Relais, das zur Verstärkung der Schaltleistung von selbsttätigen Reglern und anderen Feinschaltgeräten dient. Der eigentliche „Kontaktgeber“ ist im oberen Teil des Relais angebracht, der zwei Steuerkreise steuert, von denen der obere alle 14 sec auf $\frac{1}{2}$ sec unterbricht, der mittlere kurz vorher ein- und kurz danach ausschaltet. Der Steuerstromkreis ist vom Netz durch die Fernschalterspule über den Reglerkontakt und das kurzzeitig schließende mittlere Kontaktpaar des Kontaktgebers ins Netz geführt. Hinter der Fernschalterspule läuft ein Nebenschluß über eine sogenannte „Verblockungsröhre“ und das kurzzeitig öffnende obere Kontaktpaar zum Netz. Sofern der Regler getrennt hat, vollzieht dieser Nebenschluß die Abschaltung, und der

Steuerstromkreis die Einschaltung über das untere Kontaktpaar, nachdem die Regelkontakte geschlossen haben. Das heißt, die Regelkontakte öffnen und schließen also stromlos. Das dritte Kontaktpaar dient dazu, den Strom für das Motorventil in beliebige Intervalle zu unterbrechen. Je nach der Schaltung dieses Kontaktpaares (siehe Abb. 94) ist es also möglich, das Ventil oder die Luftklappe langsamer oder schneller sowohl öffnen als auch schließen zu lassen.

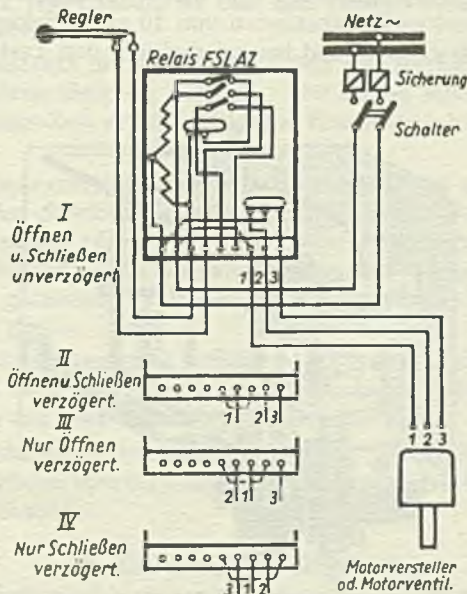


Abb. 94. Elektrisches Regelsystem.

Ein einfacheres Regelsystem ergibt sich bei Verwendung eines Fallbügelreglers (Abb. 95) (Temperatur-Feinregler oder auch Galvanometer genannt). An Stelle der Thermostate sind als Fühlorgane elektr. Widerstandsthermometer erforderlich.

Die Temperatur-Feinregler bewirken die vollständig selbsttätige genaue Einhaltung der Arbeitstemperaturen und zeigen gleichzeitig die jeweils herrschende Temperatur an. Sie vereinigen also in sich einen Feinregler mit einem Anzeigergerät.

Die nach Celsiusgraden geteilte Skala zeigt auch die außerhalb des Regelbereiches liegenden Temperaturwerte an, erspart also ein besonderes Temperaturablesegerät. Der Antrieb des Fallbügelreglers erfolgt

durch einen völlig wartungsfrei arbeitenden kräftigen Synchronmotor für Wechselstrom-Lichtnetzanschluß, der weder Bürsten noch Schleifringe besitzt und von selbst anläuft.

Für Gleichstrom ist ein kleiner Drehumformer vorzusehen, um eine Wechselstromquelle zu schaffen.

Der Motor ist mit einem ölgekapselten Untersetzungsgetriebe zusammengebaut, das ebenso wie die Läuferwelle Speziallagerung hat. Der Fallbügel (1) wird durch die vom Motor (2) angetriebene Kurvenscheibe (3) in gleichen Zeitabständen von 10 zu 10 Sekunden entgegen den Zugfedern (4) gesenkt und bewegt dadurch den Taster (5) auf und

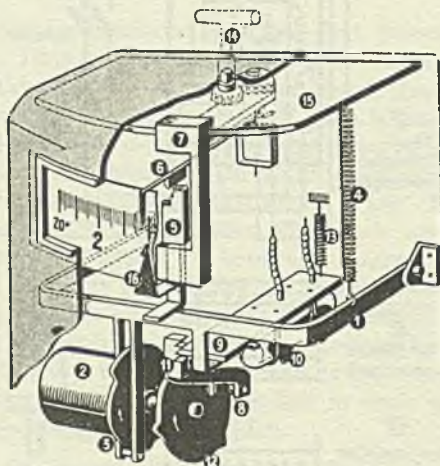


Abb. 95. Fallbügelregler (Temperatur-Feinregler).

nieder. Dieser hat einen treppenförmigen Ansatz mit drei Stufen. Beim Aufwärtsgehen erfährt der Taster (5) kurzzeitig den Zeiger (6) mit einer dieser Stufen und drückt ihn gegen den Stellarm (7). Hierdurch wird die Bewegung des Fallbügels (1) nach oben begrenzt und ergibt drei verschiedene Hubhöhen des Fallbügels. Dieser verstellt dabei mit dem Anschlag (8) den doppelarmigen Schalthebel (9), der die Schaltröhre (10) trägt.

Der Schalthebel (9) wird in seinen drei Lagen durch die Sperrklappe (11) festgehalten, die mit sägezahnartigen Rasten versehen ist und seitlich gegen den Schalthebel (9) gedrückt wird. Eine zweite Kurvenscheibe (12) bewegt die Sperrklappe (11) beiseite und entsperrt in Übereinstimmung mit der Fallbügelbewegung kurzzeitig den Schalthebel (9), so daß er seine Stellung ändern kann.

Dies erfolgt, indem entweder der Fallbügel (1) mit seinem Anschlag (8) den Schalthebel (9) in eine höhere Lage drückt, oder indem der Schalthebel (9) unter der Einwirkung der Zugfeder (13) in eine tiefere Lage fällt. Diese Schaltstellung behält er dann bis auf weiteres bei.

Der Temperatur-Feinregler erteilt also nicht nur kurzzeitige Impulse, sondern bewirkt rein mechanisch Dauerschaltungen ohne besondere elektrische Sperrungen, was die Regelgenauigkeit sehr begünstigt. Des weiteren sind die drei Schaltstufen auch unabhängig voneinander, jede für sich verwendbar, so daß alle Schaltwünsche berücksichtigt werden können.

Der Schalttakt des Fallbügels wurde mit Rücksicht auf möglichst geringe Schaltverzögerung gewählt. Der Zeiger selbst wird nur einen Bruchteil dieser Zeit erfaßt, um seine Einstellung möglichst wenig zu behindern.

Die Temperatureinstellung erfolgt durch einen oben am Gehäuse einzuführenden Steckschlüssel (14). Der auf der Tragplatte (15) angeordnete Stellarm (7) mit dem Taster (5) wird geschwenkt, wobei ein roter Einstellzeiger auf die eingestellte Temperatur zeigt. Die Einstellung umfaßt den gesamten Skalenbereich und erfolgt infolge Räderumsetzung sehr genau.

Die Anzeigegenauigkeit beträgt $\pm 0,2\%$ des Skalenumfanges. Wie auch bei der vorher beschriebenen Regelanordnung läßt sich auch hier die Regelung mit oder ohne Verzögerung einstellen.

Das Widerstandsthermometer wird in einem Zweig der Wheatstoneschen Brücke, und der Feinregler (Galvanometer) in einem Diagonalzweig eingeschaltet.

2. Die Druckluft-Regelanlage.

Eine Druckluft-Regelanlage, wie diese bei Klimaanlage verwendet werden, zeigt Abb. 96. Der Thermostat ist hierbei als Stabregler ausgebildet. Die Arbeitsweise ist wie folgt:

Das äußere Rohr des Stabreglers ist der sich ausdehnende Körper. Durch eine Hebelübersetzung wird die bei Temperaturveränderung eintretende Längenänderung des Fühlkörpers eine Luftdüse mehr oder weniger stark schließen. Je nach der Längenänderung steigt oder sinkt der Druck in der zu dem Fühlkörper führenden Druckleitung. Die Folge ist, daß die Membrane über dem Ventil oder im Antriebsmotor des Klappenverstellers, mehr oder weniger je nach dem Druck (Düsenöffnung) heruntergedrückt wird und sich das Ventil oder die Klappen auch mehr oder weniger schließen.

Wie schon erwähnt, kann an Stelle von Druckluft auch Wasser mit dem nötigen Fließdruck verwendet werden. Hierbei würde der verhältnismäßig teure Luftkompressor in Wegfall kommen. Um eventuellen

Betriebsstörungen vorzubeugen, empfiehlt es sich, hinter dem Wasseranschluß einen Filter einzubauen. Außerdem müßte zur Konstanthaltung des Wasserdruckes ein Druckreduzierventil vorgesehen werden.

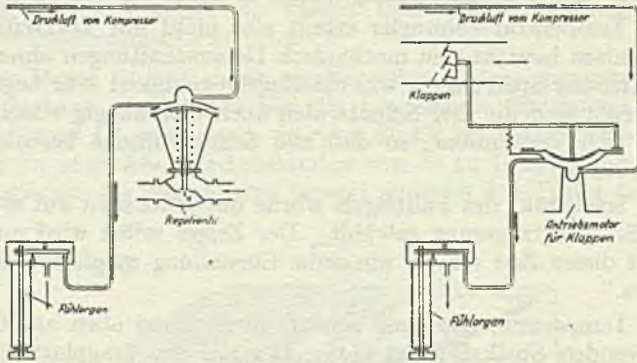


Abb. 96. Druckluft-Regelanlage.

3. Elektro-hydrantische oder pneumatische Regelanlage.

Dieses Regelsystem ist also eine Kombination von Elektrizität mit Druckwasser oder Druckluft (Abb. 97). Bei dieser Art Steuerung sind

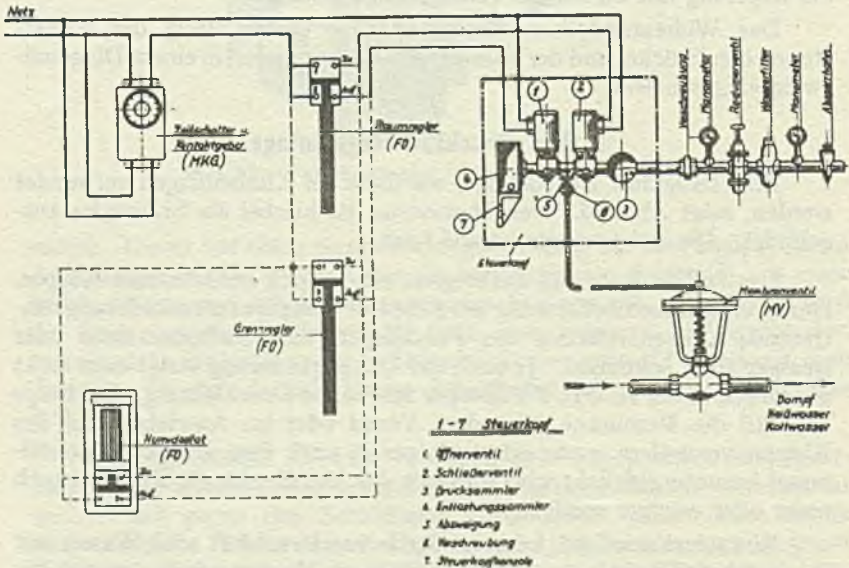


Abb. 97. Elektro-hydrantische oder pneumatische Regelanlage.

sämtliche Fühlorgane und all deren Steuerleitungen bis zur Klimazentrale für elektrischen Betrieb eingerichtet und die Leitungen als elektrische Leitungen verlegt, während die Betätigung der Regelorgane selbst, Klappen, Ventile, usw. durch Druckwasser oder Druckluft erfolgt.

Diese Kombination hat den großen Vorteil, daß die Steuerleitungen ohne großen Kostenaufwand und in denkbar einfachster Weise verlegt werden können, ohne daß mit einem Undichtwerden und dadurch Nichtfunktionieren der Anlage zu rechnen ist. Andererseits aber gewährleistet die Betätigung der Regelorgane durch Druckwasser oder Druckluft ein unbedingt geräuschloses Arbeiten.

Arbeitsweise.

Die in der Anlage eingebauten Fühlorgane (*FO*) reagieren auf Temperatur oder Feuchtigkeit derart, daß sie bei steigender Temperatur oder Feuchtigkeit einen Kontakt schließen, im Normalzustand außer Kontakt sind und bei Senkung der Temperatur oder Feuchtigkeit den Gegenkontakt schließen. Es hat somit jedes Fühlorgan einen Öffnerkontakt „auf“ und einen Schließerkontakt „zu“.

Am Steuerkopf sind zwei elektrisch gesteuerte Hilfsventile, das Öffnerventil (1) und das Schließerventil (2) angeordnet, welche mit den entsprechenden Kontakten der Fühlorgane in Verbindung stehen. Über die Reduzierstation gelangt Druckwasser oder Druckluft zum Drucksammler (3) am Steuerkopf und von diesem zum Schließerventil (2). Zwischen Öffner- und Schließerventil erfolgt der Abzweig der Druckwasser- oder Druckluftsteuerleitung zum Regelorgan (*MV*), während hinter dem Öffnerventil (2) der Entlastungssammler (4) auf einer Konsole (7) angeordnet ist. Das Steuermedium (Druckwasser oder Druckluft) steht im Drucksammler (3) unter einem Druck von 2 atü, im Entlastungssammler (4) drucklos, da dieser durch eine Abflußleitung mit der Atmosphäre verbunden ist. Der Motorkontaktgeber und Zeitschalter (*MkG*) steuert eine Phase der elektrischen Hauptzuleitung derart, daß er zur gesamten Steueranlage nur jeweils einen kurzzeitigen Kontakt von einer $\frac{1}{2}$ Sekunde in Zeitabständen von einer Minute zuläßt. Dadurch erhalten die Hilfsventile am Steuerkopf selbst bei Dauerkontakt am Fühlorgan nur ganz kurzzeitigen Steuerimpuls und öffnen nur für diesen kurzen Zeitmoment den Durchfluß des Steuermediums entweder zum Regelorgan (*MV*) oder zum Entlastungssammler (4).

Beispiel 1: Raumtemperatur zu hoch.

Der Raumregler wird den Kontakt (1) „zu“ schließen und somit auch den Stromkreis zum Schließerventil (2) freigeben, welches sich nun beim jeweiligen Eintreten des Stromstoßes, freigegeben durch den Zeitschalter (*MEG*), kurzzeitig öffnet und das Steuermedium aus dem Drucksammler(3) zum Regelorgan (*MV*) gelangen läßt. Eine direkte Verbin-

dung zum Entlastungssammler (4) ist nicht möglich, nachdem das Öffnerventil (1) außer Strom und daher geschlossen ist. Dieser impulsartige Vorgang wiederholt sich solange bis durch Drosselung des Regelorgans die gewünschte Temperatur erreicht ist. Das Regelorgan kann also auch in Zwischenstellungen stehen bleiben.

Beispiel 2: Raumtemperatur zu niedrig.

Der Raumregler wird aus einer kontaktlosen Stellung den Kontakt (2) „auf“ schließen und somit auch das Öffnerventil (1) unter Strom setzen. Nun erhält dieses Ventil die impulsartigen Stromstöße, wodurch das Steuermedium aus der Membrankappe des Regelorgans durch die Gegendruckfeder am Regelorgan in den Entlastungssammler (4) geführt wird und von hier abfließen kann. Es erfolgt also ein stufenweises Öffnen, wobei das Schließerventil (2) geschlossen bleibt.

Beispiel 3: Raumtemperatur zu hoch, Einblastemperatur zu niedrig.

Es kann der Fall eintreten, daß nach Beispiel 1 der Raumregler das Regelorgan vollständig schließen würde, wodurch aber die Gefahr entstehen kann, daß die Mindestgrenze der Zulufttemperatur unterschritten wird. In diesem Augenblick tritt der Grenzregler in Tätigkeit und zwar wird er, nachdem es sich um ein Unterschreiten der Grenztemperatur handelt, den Öffnerkontakt (2) „auf“ schließen. Es haben nun der Raumregler den Schließerkontakt (1), der Grenzregler den Öffnerkontakt (2) geschlossen. Bei Freigabe des Stromkreises durch den Motorkontaktgeber erhalten sowohl Öffnerventil (1) über den Grenzregler als auch Schließerventil (2) über den Raumregler den Steuerimpuls. Beide Ventile werden in diesem Augenblick geöffnet und das Steuermedium kann unmittelbar vom Drucksammler (3) nach dem Entlastungssammler (3) fließen, ohne daß das Regelorgan beeinflußt wird. Es bleibt somit sofort nach Intätigkeitstreten des Grenzreglers das Regelorgan in der augenblicklichen Lage stehen. Ein Unterschreiten der Mindest-Zulufttemperatur wird daher vermieden.

An Stelle des Raumreglers, der meistens in Verbindung mit dem Grenzregler angeordnet ist, kann natürlich auch der Humidostat treten. Für eine umfangreiche Steuergruppe sind Motorkontaktgeber, Reduzierstation und am Steuerkopf Druck- und Entlastungssammler gemeinsam zu verwenden. Zu jedem Membranventil gehört ein einstellbares Fühlorgan.

4. Elektrische Sicherheitsvorrichtungen.

(„Das Windfahnenrelais“.)

Das Windfahnenrelais ist eine elektrisch-mechanische Sicherheitseinrichtung gegen das Versagen des Ventilators infolge Ausbleibens des Stromes, infolge Flügel- oder Riemenbruchs, Lagerbeschädigung oder dergl.

Unbedingt nötig ist das Windfahnenrelais bei Luftherzitzern mit Elektro- oder Gasheizung, die in stehender Luft beschädigt werden.

Beschreibung (Abb. 98).

Das Windfahnenrelais besteht aus der Fahne 1 aus Aluminiumblech mit Tragflügelprofil und der in einer Aluminiumgußkapsel 2 befindlichen Schalteinrichtung.

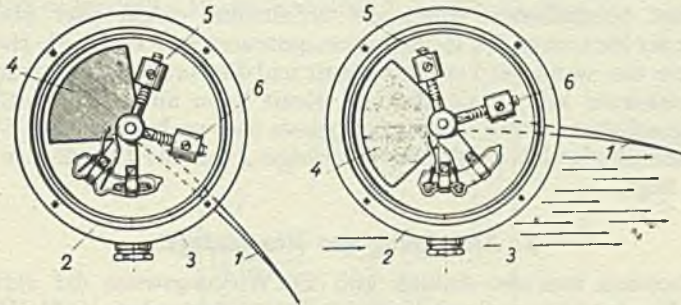


Abb. 98. Das Windfahnenrelais.



Abb. 99. Einbau im waagerechten Kanal.



Abb. 100. Einbau im senkrechten Kanal.

Der einseitig als Welle ausgebildete Flügelholm läuft in Kugellagern und trägt außer der Schaltrohre 3 das Gegengewicht 4 zum Ausgleich des Flügelgewichtes, Gegengewicht 5 zum Ausgleich des Schaltrohrgewichtes und Gegengewicht 6 zum Ausgleich des Auftriebes der Fahne 1.

Wirkungsweise.

Bei ruhender Luft dreht das Gegengewicht 6 die Fahne 1 in die zum Luftstrom senkrechte Richtung (siehe Abb. 98 Fig. 1). Dann liegt das Quecksilber im rechten Teil der Schaltröhre 3, und der Stromkreis ist unterbrochen. Nach Einschalten des Ventilators hebt der Luftstrom die Fahne 1 an und dreht die Schaltröhre so, daß die beiden links sitzenden Kontakte vom Quecksilber überflutet werden und den Steuerstromkreis schließen (Abb. 98, Fig. 2).

Wird beispielsweise durch die Schaltröhre direkt oder über ein Schütz der Heizstrom des Heizregisters gesteuert, so schaltet die Heizung nur dann ein, wenn der Ventilator läuft und die vorüberstreichende Luft die Heizkörper kühlt. Gleichzeitig damit kann auch der Ventilatormotor geschaltet werden, so daß auch dieser überwacht wird. Der Einbau des Windfahnenrelais muß stets so erfolgen, daß die Flügelachse horizontal liegt.

5. Anordnung der Regelanlage.

Nachdem nun der Aufbau und die Wirkungsweise der verschiedenen Regelsysteme behandelt sind, seien im folgenden die für Klimaanlagen erforderlichen Regelanordnungen betrachtet. Je nach der Aufgabe, welche einer Klimaanlage gestellt ist, richtet sich auch die Regelanordnung. Hierbei unterscheiden wir Anlagen, die nur für den Winterbetrieb oder den Sommerbetrieb gedacht sind, und solche, die im Sommer und Winter ohne Umschaltung durchlaufen müssen. In Industriebetrieben wird man in den meisten Fällen letztere Bauart verwenden, während für Büro-, Wohn-, Kranken- und Lichtspielhäuser alle drei genannten Bau- und Betriebsarten zur Verwendung gelangen. Unter Winterbetrieb sind dabei solche Luftverhältnisse verstanden, bei denen nebst Befeuchtung eine Erwärmung der Luft, und unter Sommerbetrieb solche, bei denen eine Kühlung der Luft zur Verringerung der Luftfeuchtigkeit und Temperatur erforderlich ist¹⁷⁾.

a) Regelung für Winterbetrieb.

1. Temperaturregelung.

Um die Raumtemperatur auf einem konstanten Wert zu halten, kann selbsttätige Regelung in einfachster Weise derart zur Anwendung gelangen, daß man die Temperaturfühler im Rückluftkanal oder, wie in Abbildung 101 gestrichelt angedeutet, im Raum selber anbringt, so daß das Regelorgan, welches in die Heizleitung eingebaut ist, auf einen Lufterhitzer einwirken kann. Werden jedoch mehrere Räume gleichzeitig beheizt, so hat die Regelung raumweise oder höchstens für einige gleichgelegene und beworbene Räume gemeinsam zu geschehen. Hierzu ist es erforderlich, in die einzelnen Zuluftkanäle getrennte Luftnachwärmer einzubauen (Zonenregelung).

Um Heizmittel einzusparen, arbeiten alle Klimaanlage bei tieferen Außenlufttemperaturen, etwa ab $+5^{\circ}\text{C}$, mit mehr oder weniger Rückluft. Das Mischverhältnis wird durch zwei gegenläufige Luftklappen hergestellt. Die Klappen werden durch einen in der Rückluftkammer eingebauten Thermostaten gesteuert. Der Antrieb der Klappen kann elektrisch, hydrantisch oder pneumatisch erfolgen. Durch diese Einrichtung wird besonders der Luftwäscher gegen Einfrieren geschützt. In Abb. 102 ist die Anordnung und Regelung einer solchen Rückluftregelung dargestellt. Hierin bedeutet *T* der Thermostat.

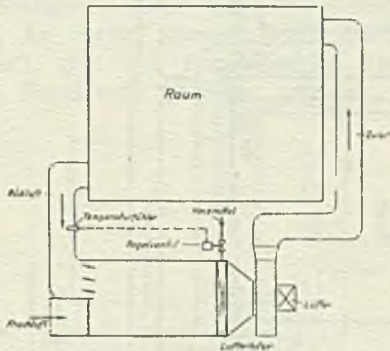


Abb. 101. Temperatur-Regelung.

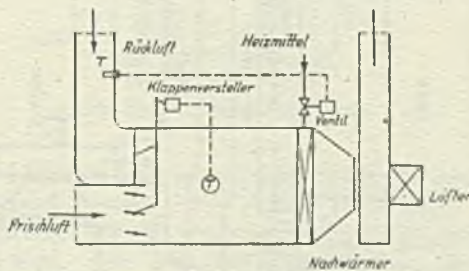


Abb. 102. Frischluft-Rückluft-Regelung.

Weiter ist in Abb. 103 eine Anlage dargestellt, durch welche mehrere Räume beheizt werden. Zur Ersparnis der Heizmittel wird auch hier Rückluft der Frischluft beigemischt. Die in der Abbildung dargestellte sogenannte Zonen-Temperaturregelung gestattet, die Raumtemperatur unabhängig von den anderen zu klimatisierenden Räumen auf dem gewünschten Sollwert zu halten. Diese Anordnung findet besonders da Anwendung, wo die zu klimatisierenden Räume ganz verschieden von außenklimatischen Einwirkungen beeinflusst werden (Sonnenstrahlung, Windanfall).

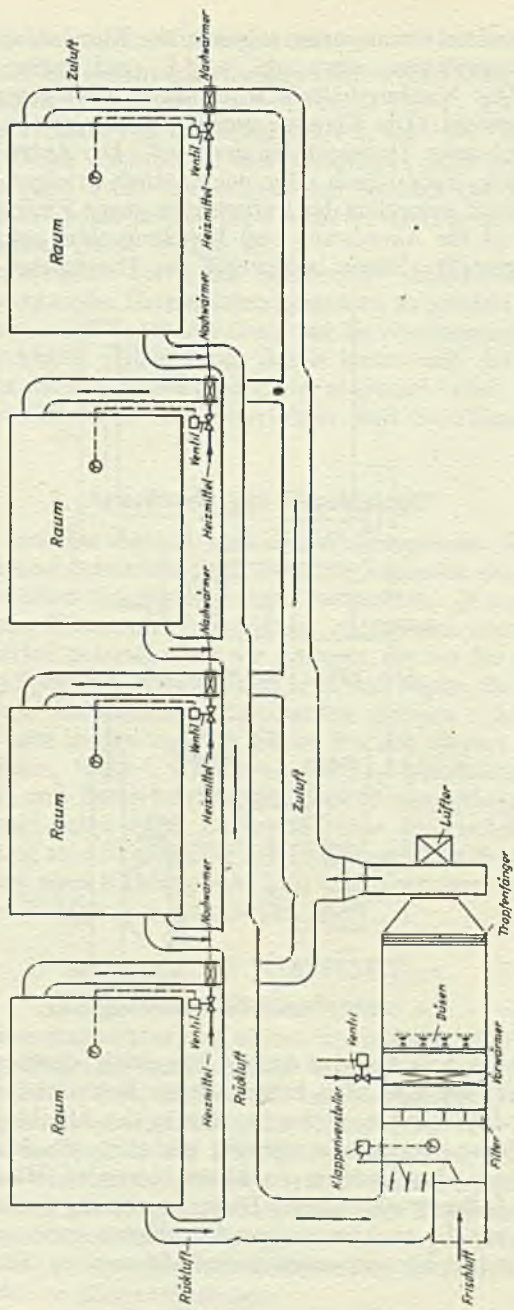


Abb. 103. Zonen-Temperatur-Regelung.

Die Thermostate könnten auch in die Rückluftkanäle eingebaut werden, was den Vorteil hat, daß die tatsächliche Raumtemperatur angezeigt wird, währenddem bei der Anordnung im Raum selbst die Thermostate durch anderweitige Wärmestrahlung u. U. beeinflusst werden.

2. Feuchteregelung.

Zur Regelung der Raumluft-Feuchtigkeit stehen uns zwei Methoden zur Verfügung, die direkte und die indirekte. Erstere besteht darin, daß die Feuchtigkeit durch einen Feuchteregler *F* unmittelbar gesteuert wird, das heißt, unterschreitet die Feuchtigkeit den gewünschten Sollwert, gibt der Feuchteregler einen Impulsstrom, durch welchen das Regelventil geöffnet, und der Luft in feiner-

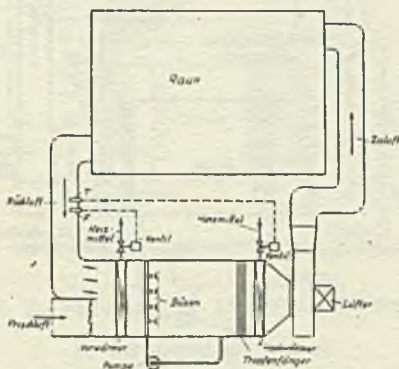


Abb. 104. Taupunktregelung.

stäubtem Zustand Wasser beigemischt wird. Diese Methode wird jedoch durch die bedeutend bessere „indirekte“ verdrängt. Unter dieser Bezeichnung verstehen wir die sogenannte Taupunktregelung. Durch diese Methode wird, wie aus der Bezeichnung hervorgeht, der Taupunkt der Luft geregelt. Nehmen wir z. B. an, daß die im Raum selbst anfallende Feuchtigkeit so gering ist, daß sie vernachlässigt werden kann, dann ist, wenn der Taupunkt der Luft und gleichzeitig auch ihre Temperatur auf konstanten Werten gehalten werden, die relative Feuchtigkeit der Raumluft auch konstant. Ist jedoch die im Raum anfallende Feuchtigkeit von Bedeutung, dann muß diese berücksichtigt und der Taupunkt entsprechend herabgesetzt werden. In diesem Falle ist der Feuchtefühler im zu klimatisierenden Raum oder im Rückluftkanal anzuordnen.

Abb. 104 zeigt eine praktische Ausführung einer Taupunktregelung. Hierbei wird die Luft im Klimagerät unter gleichzeitiger Befeuchtung

bis zur Sättigung so weit erwärmt, daß sie nach Erwärmung auf die Gebrauchstemperatur gerade die gewünschte relative Feuchtigkeit hat. Die Steuerung des Luftvorerwärmers und Lufterwärmers wird also nur in Abhängigkeit von der Taupunkttemperatur im Klimagerät bzw. von der Raumtemperatur vorgenommen. Liegt zum Beispiel die Temperatur der Frischluft bzw. des Gemisches Frischluft-Rückluft unter der Taupunkttemperatur, so daß die Luft die erforderliche Feuchtigkeit nicht aufnehmen kann, dann erfolgt durch einen Feuchte- oder Taupunktregler eine Vorerwärmung der Luft mittels des vor der Befeuchtungsanlage (Düsen-system) befindlichen Luftvorerwärmers. Wie schon in einem anderen Abschnitt erwähnt, kann an Stelle der Luft das Düsenspeisewasser erwärmt werden. Dies kann einerseits durch den

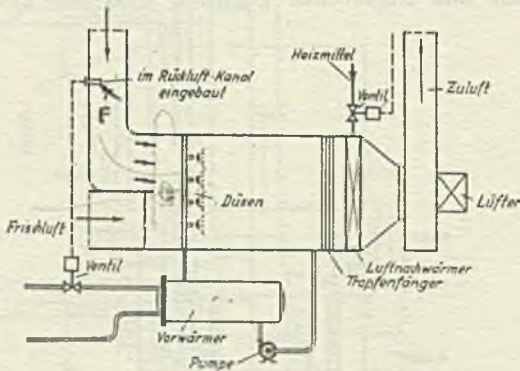


Abb. 105.
Taupunktregelung durch Düsenspeisewasser-Erwärmung.

Einbau einer Heizschlange in das Düsensammelwassergefäß oder andererseits durch Zwischenschaltung eines Gegenstromapparates in den Pumpenkreislauf erreicht werden (Abb. 105).

Anstatt nun die ansaugende Luft zwecks größerer Aufnahme von Feuchtigkeit vorzuwärmen oder an Stelle der Erwärmung des Düsenspeisewassers besteht noch die Möglichkeit, der Frischluft soviel Rückluft beizumischen, bis die erforderliche Taupunkttemperatur erreicht ist. Das heißt, das Mischverhältnis wird so hergestellt, daß keine Vorerwärmung der Luft erforderlich ist. In diesem Falle steuert der Feuchte-regler *F* das Reglerventil in der Heizmittelleitung zum Gegenstrom-apparat. In wärmecöonomischer Hinsicht ist diese Taupunktregelung, besonders bei tiefen Außentemperaturen, zu empfehlen, denn dadurch kann sehr viel Heizmaterial gespart werden. Einzelne Ausnahmefälle erlauben jedoch eine Verwendung von Rückluft nicht, so daß die Frisch-luft oder das Düsenspeisewasser erwärmt werden müssen.

Eine Zusammensetzung der beschriebenen Regelsysteme zu einer vollständigen Regelanordnung ist in Abbildung 106 dargestellt.

Der in der Rückluftkammer angeordnete Thermostat drosselt bei fallender Außenlufttemperatur den Frischluftanteil. Vielfach ist nämlich vorgeschrieben, daß unter einer bestimmten Temperatur, z. B. $+2^{\circ}\text{C}$ der Frischluftanteil gedrosselt und durch Rückluft ersetzt werden soll. Der hinter dem Tropfenfänger eingebaute Thermostat dient zur Taupunktregelung und steuert somit die Heizleistung des Luftvorerwärmers, regelt also die relative Feuchtigkeit der Luft. Ein weiterer Thermostat ist im Rückluftkanal eingebaut, der die Nachwärmung auf die gewünschte Temperatur regelt. Durch diese Regelanordnung wäre der Betrieb einer Klimaanlage sichergestellt.

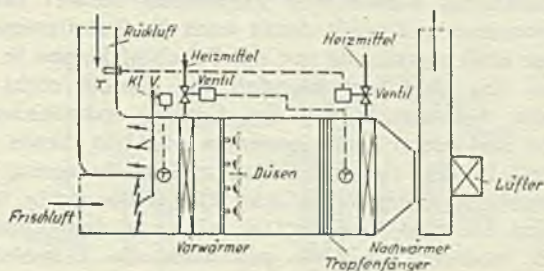


Abb. 106. Regelanordnung für Winterbetrieb.

b) Regelung für Sommerbetrieb.

1. Temperaturregelung.

Soll nun im Sommerbetrieb (wie auch im Winterbetrieb) die gewünschte Raumtemperatur konstant gehalten werden, so ist die Luft zu kühlen. Es muß also ein Kühler vorgesehen werden. In die Kältemittelzufuhrleitung wird wieder ein Regelventil eingebaut, welches durch den im Zuluftkanal eingebauten Thermostaten gesteuert wird. Die Regelanordnung ist also die gleiche wie beim Winterbetrieb, nur, daß eben an Stelle des Lufterwärmers ein Luftkühler (Trocken-Oberflächenkühler) steht.

2. Feuchterege lung.

Wird nun die Forderung gestellt, daß außer der Temperatur auch die Feuchtigkeit konstant gehalten werden soll, muß, da die relative Feuchte im Sommer u. U. sehr hoch ist, die Luft zwecks Erzielung einer Wasserausscheidung unterkühlt, und, um den gewünschten Raumluftzustand zu erhalten, wieder erwärmt werden.

Da in vielen Fällen im Sommer keine Heizmittel zur Verfügung stehen, kann die gekühlte Frischluft durch Umluftbeimischung auf die

gewünschte Zuluft-Temperatur gebracht werden. Außerdem kann, um Kältemittel zu ersparen, die Frischluft gedrosselt und durch Rückluft ersetzt werden. Öfters ist vorgeschrieben, daß oberhalb einer Außenlufttemperatur von $+25^{\circ}\text{C}$ diese Frischluftdrosselung selbsttätig eingeschaltet wird. Eine solche Anlage ist in Abb. 108 dargestellt. Bei steigender Temperatur, also z. B. bei Erreichung einer Außenlufttemperatur von 25°C , gibt der in der Rückluftkammer eingebaute Thermostat einen Impulsstrom von sich, wodurch der Klappenantriebsmotor betätigt und die Klappen entsprechend verstellt werden. Dadurch wird der Frischluftanteil verringert und der Rückluftanteil vergrößert. In der Abb. 109 ist eine Regelanordnung dargestellt, bei der die gekühlte Luft mittels Umluft auf die gewünschte Zulufttemperatur gebracht wird. Der im Zuluftkanal angeordnete Thermostat steuert den Klappenstellerantriebsmotor und regelt damit auch die Zulufttemperatur. Die Umluftklappe muß gegenläufig mit der Frischluftklappe in Verbindung stehen. Das hat den Nachteil, daß die Umluft nicht durch den Wäscher oder den am Anfang des Gerätes eingebauten Luftfilter geführt wird und somit nicht gereinigt ist. Um diesen Nachteil zu beheben, wird in den meisten Fällen zwecks Reinigung der Umluft ein Filter eingebaut. Öfters findet man auch Klimageräte, bei denen die Luftfilterzellen am Ende des Gerätes, also vor dem Zuluftlüfter eingebaut sind, wodurch die Um- wie auch die Frischluft gereinigt werden.

c) Regelung für Sommer und Winter.

Soll nun ein Klimagerät Sommer- und Wintertemperatur sowie auch Feuchtigkeit auf einem konstanten Wert halten, dann ist der Taupunktthermostat mit zwei Kontakten und zwar, einem Minima- und einem Maximakontakt zu versehen. Durch ersteren wird die Vorwärmung (Vorerwärmer) und durch letzteren die Kühlmittelzufuhr (Kühler) gesteuert. Eine solche Regelanordnung zeigt Abb. 110. Der Temperaturfühler (Thermostat) ist hierbei in der Lage, den Taupunkt konstant zu halten, wodurch, wie schon erwähnt, die relative Feuchtigkeit auch konstant gehalten wird.

Ein vollautomatisches Klimagerät mit anderer Regelanordnung ist in Abb. 111 dargestellt.

Die Wirkungsweise wird bei Verfolgung der Luftzustände klar. Angenommen, die relative Feuchtigkeit ist richtig, aber die Temperatur zu niedrig: Durch den Temperaturfühler wird der Vorerhitzer 4 geöffnet; die Temperatur erreicht ihren Sollwert, zugleich ist aber die relative Feuchtigkeit zurückgegangen; der Feuchtefühler wird nun eine stärkere Wasserabgabe der Düsen 6 veranlassen, deren Kühlwirkung durch verstärkte Heizung des Vorerhitzers 4 ausgeglichen wird. Oder die Temperatur ist richtig, aber die relative Feuchtigkeit zu hoch: Der

Feuchtefühler schließt den Düsenzulauf und öffnet den Nacherhitzer 8; die Raumtemperatur steigt, was der Temperaturfühler mit Öffnen des

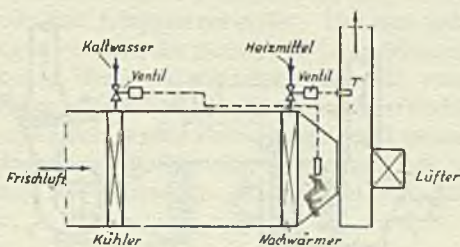


Abb. 107. Feuchte-Regelung.

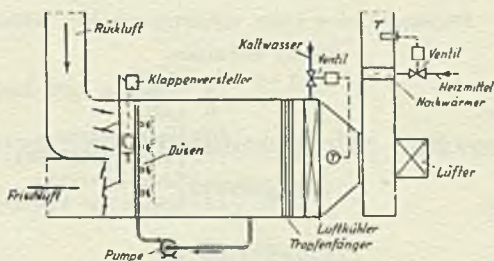


Abb. 108. Rückluftbeimischung.

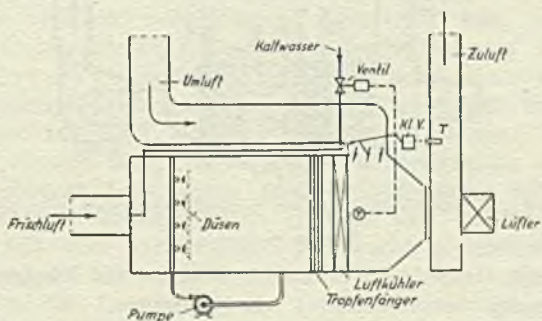


Abb. 109. Nachwärmung der gekühlten Luft mittels Umluft.

Kühlers 5 beantwortet; das Kühlerventil wird nun soweit geöffnet, daß die abgekühlte Luft ihren Taupunkt überschreitet und das Zuviel an Wasser ausfällt.

Die in den Abbildungen 110 und 111 eingezeichneten Rückluft- und Frischluftklappen können natürlich auch selbsttätig geschaltet

werden. Zur Betätigung dieser müßte noch ein Thermostat in die Rückluftkammer eingebaut werden, durch welchen die Klappen gegenläufig gesteuert werden.

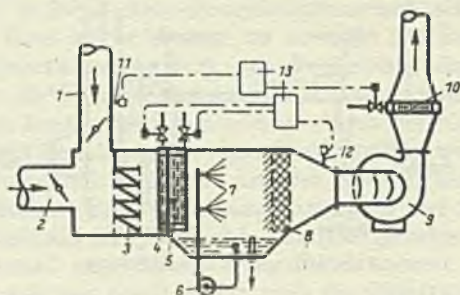


Abb. 110. Regelanordnung eines vollautomatischen Klimagerätes.

Hierin bedeuten:

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| 1. Rückluftkanal. | 8. Wäscher- und Tropfenfänger. |
| 2. Frischluftkanal. | 9. Lüfter. |
| 3. Luftfilter | 10. Nacherwärmer |
| 4. Vorerwärmer. | 11. Temperaturfühler. |
| 5. Kühler. | 12. Taupunktfühler. |
| 6. Umwälzpumpe. | 13. Regler für Ventilmotoren. |
| 7. Wasserdüsen. | |

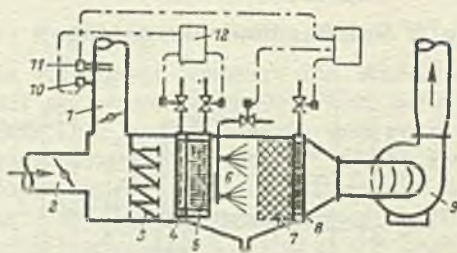


Abb. 111. Regelanordnung eines vollautomatischen Klimagerätes.

Hierin bedeuten:

- | | |
|-----------------------|-------------------------------------|
| 1. Rückluftleitung. | 7. Wäscher- und Tropfenabschneider. |
| 2. Frischluftleitung. | 8. Nacherhitzer. |
| 3. Luftfilter. | 9. Lüfter. |
| 4. Vorerhitzer. | 10. Raumtemperaturfühler. |
| 5. Kühler. | 11. Taupunktfühler. |
| 6. Wasserdüsen. | 12. Regler für Ventilmotoren. |

Von den zahllosen in der Praxis vorkommenden Regelungen stellen die beschriebenen Regelanordnungen nur einen Teil dar. Ob es sich nun um die Regelung einer Komfort- oder Industrie-Klimaanlage handelt,

in beiden Fällen werden dieselben Grundelemente zur Regelung verwendet. Auffallend ist, daß die verwendeten Grundelemente zahlenmäßig gering sind. In der Hauptsache sind es doch nur Thermostate, Hygrostate, Regelventile und Klappenversteller. Um nun jeder Regelaufgabe Rechnung zu tragen, werden die genannten Grundelemente in mehr oder weniger verwickelter Weise miteinander gekuppelt, was aus den dargestellten Abbildungen ersichtlich ist. Die heute zur Verfügung stehenden Regelemente ermöglichen eine einwandfreie und genaue Regelung der Gesamtklimaanlage; man muß hierbei im wesentlichen über die zur Verfügung stehenden Regelemente unterrichtet sein und deren Regelungsvorgang kennen.

VIII. Abschnitt.

Berechnung und Ausführung der Luftverteilungsleitungen.

1. Berechnung.

Um den zu klimatisierenden Räumen die erforderlichen Luftmengen zuzuführen, müssen Luftverteilungsleitungen verlegt werden. Diese können aus verschiedenem Material hergestellt sein, so z. B. aus Eisenblech, Rabitz, Heraklit, Toschi oder Torfat und a. m. Es empfiehlt sich, besonders die Luftverteilungsleitungen, kurz „Kanäle“ genannt, mit genügenden Reinigungsöffnungen zu versehen, um diese laufend, besonders nach erfolgter Montage reinigen zu können. Die Projektierung der Kanäle bringt u. U. große Schwierigkeiten mit sich, da diese bei größeren Luftmengen große Abmessungen erhalten. Bedeutend weniger Schwierigkeiten ergeben sich hierbei, wenn von Anfang an mit dem Architekten Rücksprache genommen wird, und die Bauleitung den erforderlichen Unterbringungsplatz für die Kanäle festlegt. Um die Leistungen der Gesamtklimaanlage einhalten zu können, müssen die Kanäle mit größter Sorgfalt berechnet werden. Die Berechnung der Kanäle ist, ebenso wie bei den Heizungsrohrsystemen, nicht mit voller Sicherheit und Genauigkeit durchführbar. Deswegen wird man stets Regulierschieber einbauen oder die Luftein- oder -austrittsgitter verstellbar vorsehen (Schlitzschieber usw.).

Bei der Berechnung ist das Rohr- oder Kanalnetz für die Ermittlung der Widerstände in seine einzelnen Teilstrecken zu zerlegen, da die Größe der einzelnen Leitungen abhängig ist von der Leistung und von

dem Widerstand, den die zu bewegendende Luft dabei in der Leitung findet. Infolgedessen haben wir mit zwei Hauptgleichungen zu rechnen, und zwar:

1. der Leistungsgleichung,
2. der Widerstandsgleichung.

Der Gesamtwiderstand setzt sich bekanntlich aus dem laufenden Reibungswiderstand der geraden Strecken, den jeweiligen Stoßwiderständen bei Abzweigen, Krümmungen, Erweiterungen, Verengerungen (Eintritte und Austritte) und aus den Widerständen im Klimagerät selbst (Filter, Lufterwärmer, Kühler usw.) zusammen. Leitungen bzw. Kanäle mit glatten Wandungen (Eisenblech) weisen gegenüber Kanälen mit rauhen Wandungen (Mauerwerk) einen geringeren Reibungswiderstand auf. Daraus ergibt sich die Folgerung, daß die Wandungen der Kanäle möglichst glatt sein sollen, da dadurch der Antriebsmotor für den Lüfter auch kleiner wird.

Der Gesamtwiderstand H setzt sich also zusammen aus:

$$H = \Sigma R \cdot l + \Sigma Z + \Sigma A + h_{dyn} \quad \text{in mm WS.} \quad (56)$$

Hierin bedeuten:

- H = Gesamtwiderstand in mm WS.,
 $\Sigma R \cdot l$ = Rohr- bzw. Kanalreibung in mm WS.,
 ΣZ = Stoßwiderstände (Summe Einzelwiderstände) in mm WS.
 ΣA = Apparatwiderstände in mm WS.

Der Druckverlust (Widerstand) errechnet sich für die gerade Rohrleitung bzw. für den geraden Kanal zu:

$$R \cdot l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \quad \text{in mm WS.} \quad (57)$$

Hierin bedeuten:

λ = Beiwert (zu errechnen nach der Gleichung.

$$\lambda = 0,0072 + \frac{0,61}{Re^{0,35}} + \frac{2,9 \cdot 10^{-5}}{d} \cdot Re^{0,108}$$

wobei $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$ ist).

l = Länge der Rohrleitung in m,

γ = spez. Gewicht der Luft kg/m^3 ,

v^2 = Luftgeschwindigkeit in der 2. Potenz.

Bei rechteckigen Kanälen mit dem Querschnitt $a + b$ wird an Stelle von d der gleichwertige Durchmesser $dg = \frac{2a \cdot b}{a + b}$ eingesetzt.

Für Überschlagsrechnungen können die Widerstände in einer Blechröhrlleitung wie folgt angenommen werden: *für 1 lfd.m Rohr*

Zahlentafel 11.

Rohr- durch- messer	v Geschwindigkeiten in m/sec								
	3	4	5	7	8	10	12	14	16
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
200 mm	0,060	0,18	0,180	0,320	0,420	0,620	0,900	1,30	1,60
300 mm	0,040	0,065	0,100	0,220	0,360	0,380	0,530	0,72	0,91
400 mm	0,038	0,045	0,070	0,140	0,180	0,290	0,380	0,50	0,65
500 mm	0,020	0,035	0,052	0,100	0,130	0,200	0,290	0,38	0,50
600 mm	0,018	0,028	0,042	0,080	0,110	0,160	0,220	0,30	0,40
700 mm	0,013	0,024	0,036	0,068	0,088	0,130	0,180	0,25	0,31
800 mm	0,011	0,020	0,030	0,058	0,072	0,120	0,160	0,21	0,28
900 mm	0,008	0,017	0,025	0,050	0,062	0,092	0,135	0,18	0,23
1000 mm	0,006	0,015	0,022	0,042	0,055	0,081	0,120	0,16	0,20

Für Rohrkrümmen vom Radius = $2d$ kann der dreifache Wert für 1 lfdm Rohr genommen werden. Die in der Zahlentafel angegebenen Werte sind bei glatten Rabitz- und Mauerkanälen zu verdoppeln, bei sehr rauhen Kanälen zu verdreifachen.

Die Einzelwiderstände lassen sich aus folgender Gleichung errechnen:

$$Z = \Sigma \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \text{ in mm WS.} \quad (58)$$

oder wenn man $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$ einsetzt

$$Z = \Sigma \zeta \cdot 0,061 \cdot v^2 \text{ in WS.} \quad (59)$$

Hierin bedeuten:

- Z = Einzelwiderstände in mm WS.,
- ζ = Beiwert, welcher durch die Gestalt der Einzelwiderstände bestimmt ist,
- γ = spez. Gewicht der Luft in,
- g = Gravitation 9,81,
- v^2 = Luftgeschwindigkeit in der 2. Potenz.

Die Beiwerte ζ wurden durch Versuche ermittelt, über deren Größe Zahlentafel 12 Aufschluß gibt. Daraus ist ersichtlich, daß Abzweigungen, Krümmungen, Rohrverengungen und Rohrerweiterungen strömungstechnisch auszubilden sind, d. h. es soll zum Beispiel kein scharfes Winkelknie, sondern ein gut abgerundetes Knie verwendet werden. Durch strömungstechnisches Entwerfen der Kanäle wird das sogenannte „Rauschen“, besonders bei höheren Luftgeschwindigkeiten, vermieden.

Außerdem vermindert die strömungstechnische Ausarbeitung der Kanäle die Einzelwiderstände und damit auch den vom Elektro-Antriebsmotor für den Lüfter erforderlichen Kraftbedarf.

Außer den angeführten Widerständen sind die der Apparatur des Klimagerätes wie Filter, Luftkühler, Vorerwärmer, Nacherwärmer, Tropfenfänger usw. zu berücksichtigen. Allgemein sind diese Widerstände den Tafeln der Hersteller zu entnehmen. Mittlere Werte hierfür ergeben sich zu:

- Filter = 5 bis 10 mm WS.
- Absolutfilter = 10 bis 15 mm WS.
- Befeuchtungsanlage = 4 bis 6 mm WS.
- Lufterwärmer = 5 bis 10 mm WS.
- Luftkühler = 5 bis 12 mm WS.
- Tropfenfänger = 5 bis 12 mm WS.
- Luftklappen = 1 bis 3 mm WS.

Für ein vollständiges Klimagerät kann man im Gesamtwiderstand A für die Apparatur je nach der Größe und Bauart folgende Werte annehmen:

- Kleineres Klimagerät = 10 bis 20 mm WS.
- Mittleres Klimagerät = 15 bis 25 mm WS.
- Größeres Klimagerät = 20 bis 30 mm WS.

Zahlentafel 12.

Widerstandszahlen für Luftbewegung in Kanälen¹⁹⁾.

Gegenstand	<i>a</i>	ζ
Scharfes Knie 90°		1,5
Abgerundetes Knie 90°		0,5
Bogen 90° ($r = 2d$)		0,5
Scharfes Knie 45°		0,5
Abgerundetes Knie 45°		0,2
Bogen 45°		0,05
Von einem kleineren Querschnitt / zum größeren Querschnitt f_1	0,8 bis 0,85	$1 - \left(\frac{l}{a^2 f_1}\right)^2$
Umgekehrt von f_1 auf /		$\left(\frac{l}{a^2 f_1}\right) - 1$
Scharfkantige Ausströmung aus Kanal im Raum		1,—
Allmähliche Verengung		0
Allmähliche Erweiterung		0
Gitterausmündungen.		
1. Schlitzschieber $\frac{g}{F} = 0,6$		4
Schlitzschieber $\frac{g}{F} = 0,5$		6
Schlitzschieber $\frac{g}{F} = 0,4$		10
2. Drahtgewebe $\frac{g}{F} = 0,6$		2
Drahtgewebe $\frac{g}{F} = 0,5$		3
Drahtgewebe $\frac{g}{F} = 0,4$		5
Gitter aus Draht, weitmaschig		0

f = Kanalquerschnitt und auch zumindest freier Gitterquerschnitt, letzterer bei Ventilatorbetrieb größer.

F = Gesamtgitterfläche.

a = Zahl abhängig von der Zusammenziehung beim Durchgang.

g = freie Gitterfläche.

Ein weiterer Widerstand, welcher auch vom Antriebsmotor des Lüfters überwunden werden muß, ist „die dynamische Druckhöhe“. Soll nun die Luftverteilung in einem runden Rohr geschehen, dann ergibt sich für den errechneten freien Querschnitt der Rohrdurchmesser zu 650 mm (siehe Beispiel). Nach Zahlentafel 14 ergibt sich für den errechneten Rohrdurchmesser von 650 mm bei einer Geschwindigkeit der Luft von 8 m/sec der Rohrreibungswiderstand je lfdm. zu 0,081 mm bei Verwendung von Blechkanälen. Besteht nun das Rohr nicht aus Blech, sondern zum Beispiel aus Rabitz, dann verdoppelt sich dieser Wert. Bei einer Gesamtröhrlänge von 20m ergibt sich die Rohrreibung zu

$$2 \cdot 20 \cdot 0,81 = 3,24 \text{ mm WS.}$$

Angenommen wird weiter, daß die Beiwerte ζ insgesamt zu 5 bestimmt wurden. Damit ergibt sich der Einzelwiderstand nach Zahlentafel 13 zu 19,6 mm WS. Somit wird

$$R \cdot l + Z = 3,24 + 19,6 = 22,84 \text{ mm WS.}$$

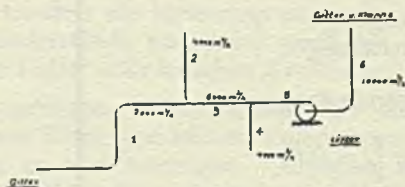


Abb. 112.

Beispiel.

Das in Abb. 112 dargestellte Rohrnetz soll durchgerechnet werden. Die Rechnung beginnt mit dem Rohrstrang des größten Widerstandes.

Der Widerstand des Lüfters h_{dyn} errechnet sich nach der Gleichung

$$h_{dyn} = \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \text{ in mm WS.} \quad (60)$$

So ergibt sich zum Beispiel die dynamische Druckhöhe für einen Lüfter bei $v = 10 \text{ m/sec}$ zu

$$h_{dyn} = \frac{10^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,20 = 6,12 \text{ mm WS.}$$

Ist nun außerdem der Gesamt-Kanalwiderstand 17,4 mm WS. der Widerstand des Klimagerätes 16 mm WS., dann ergibt sich der Widerstand der Gesamtanlage

$$H = 6,12 + 17,4 + 16 = 39,52 \text{ mm WS.}$$

Zahlentafel 13.
Einzelwiderstände.

Geschwindigkeit der Luft in m/s	Einzelwiderstände Z in mm WS. für $\Sigma \zeta =$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,2	—	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
0,3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
0,4	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,5	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,1	0,1	0,1
0,6	0,02	0,04	0,07	0,09	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
0,7	0,03	0,06	0,09	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
0,8	0,04	0,08	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
0,9	0,05	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
1,0	0,06	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
1,2	0,09	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,8
1,4	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1
1,6	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4
1,8	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
2,0	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2
2,25	0,3	0,6	0,9	1,2	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8
2,5	0,4	0,8	1,2	1,5	1,8	2,3	2,7	3,1	3,4
2,75	0,5	0,9	1,4	1,9	2,3	2,8	3,2	3,7	4,2
3,0	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0
3,5	0,8	1,5	2,3	3,0	3,8	4,5	5,2	6,0	6,7
4,0	1,0	2,0	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,8	8,8
4,5	1,2	2,5	3,7	5,0	6,2	7,4	8,7	9,9	11,1
5,0	1,5	3,1	4,6	6,1	7,7	9,2	10,7	12,2	13,8
6,0	2,2	4,4	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6	19,8
7,0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0
8,0	3,9	7,8	11,7	15,7	19,6	23,5	27,5	31,5	35,0
9,0	5,0	9,9	14,9	19,8	25,0	29,5	34,5	39,5	44,5
10,0	6,1	12,2	18,4	24,5	30,5	36,5	43,0	49,0	55,0
12,0	8,8	17,6	26,5	35,0	44,0	53,0	65,0	70,0	79,0
14,0	12,0	24,0	36,0	48,0	60,0	72,0	84,0	96,0	108
16,0	15,7	31,5	47,0	63,0	78,0	94,0	110	125	141
18,0	19,8	39,5	59,0	79,0	99,0	119	139	159	178
20,0	24,5	49,0	73,5	98,0	122	147	171	196	220

und die nutzbare Leistung des Lüfters, wenn $V = 10000 \text{ m}^3$ ist, zu:

$$N_n = \frac{10000 \cdot 1,2 \cdot 39,52}{3600 \cdot 7,5 \cdot 0,5} = 3,52 \text{ PS}$$

oder

$$N_n = \frac{10000 \cdot 1,2 \cdot 39,52}{3600 \cdot 102 \cdot 0,5} = \sim 2,55 \text{ kW.}$$

Für eine Luftmenge von $V \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer zulässigen Luftgeschwindigkeit von $v \text{ m/sec}$ errechnet sich der Querschnitt F des Kanales zu:

$$F = \frac{V}{3600 \cdot v} \text{ in m}^2. \quad (61)$$

So war für obige Luftmenge von 10000 m^3 bei einer Luftgeschwindigkeit von 8 m/sec ein freies Rohr oder Kanalquerschnitt von

$$F = \frac{10000}{3600 \cdot 8} = 0,347 \text{ m}^2$$

erforderlich.

Zahlen.

Nr.	Länge l m	Luft- menge V m^3/s	Geschwin- digkeit gewählt m/sec	Durch- messer mm	$\Sigma \zeta$ aus Rohrplan Zahlen- tafel	Einzel- wider- stände Z aus Zahlen- tafel	Rohr- reibungs- wider- stand R aus Zahlen- tafel ¹ mm WS.	$R \cdot l$ Reibungs- verluste mm WS.
1	10	0,56	5	375	4,5	6,9	0,067	0,67
3	5	1,67	5	650	1,0	1,5	0,037	0,18
5	10	2,80	5	850	1,0	1,5	0,025	0,25
6	20	2,80	6	775	2,5	5,5	0,045	0,90
						15,40		2,00

Der Gesamtwiderstand des Rohrnetzes (längster Rohrstrang) ist also

$$\Sigma Z + \Sigma R \cdot l = 15,4 + 2 = 17,4 \text{ mm WS.}$$

2. Ausführung der Luftkanäle.

Die Frischluftentnahme muß möglichst an einer wind-, staub-, rauch- und rußgeschützten Stelle erfolgen. Durch ein entsprechendes Gitter muß der Frischluftkanal gegen Blätter, Tiere usw. geschützt werden. Andererseits ist auch darauf zu achten, daß der Frischluftkanal möglichst kurz ausfällt. Gute Reinigungsmöglichkeit für den Kanal muß auch vorliegen. Die Fortluftausblaseöffnung ist möglichst fern von der Frischluftentnahmestelle anzubringen und muß besonders gegen Wind geschützt sein. Im weiteren gilt hierbei das bei dem Frischluftkanal Gesagte.

Wie schon erwähnt, ist darauf zu achten, daß der Strömungswiderstand möglichst gering gehalten werden muß, um einerseits Strömungsgeräusche zu verhindern und andererseits die Stromkosten für den Antriebsmotor des Lüfters möglichst niedrig zu halten. Die Strömungswiderstände können dadurch verringert werden, daß man geringe Strömungsgeschwindigkeiten und damit größeren Kanalquerschnitt wählt. Dadurch wird die Gefahr der Wirbelbildung besonders herabgesetzt. Werden zur Verteilung der Luft gemauerte Kanäle verwendet, dann ist darauf zu achten, daß deren Wandungen einen guten Glattstrich erhalten. In den meisten Fällen werden bei dieser Ausführungsart die Richtungsänderungen scharfkantig ausgeführt, so daß es sich empfiehlt, in den Knien usw. Lenkbleche einzubauen. Ragt z. B. irgend ein tragendes Bauteil in den Kanal hinein und kann dieses nicht beseitigt werden, dann sind zwecks Vermeidung von Wirbelbildung die Ecken gut strömungstechnisch auszufüllen. Letzteres kann besonders dann vermieden werden, wenn die Lüftungs- bzw. Klimafirma herangezogen wird, bevor der Rohbau schon fertig ist. Da die Unterbringung der Luftkanäle, besonders bei großen Kanalquerschnitten, die meisten Schwierigkeiten verursacht, sollte man bei der Festlegung der Kanalordnung stets den ausführenden Architekten des betreffenden Baues heranziehen, denn nur dieser kann u. U. den nötigen Platz dazu schaffen.

Die Luftverteilungskanäle können in verschiedensten Ausführungsarten hergestellt werden. Sehr verbreitet ist die Unterbringung der Kanäle in einer Zwischendecke im Flur. Im gegebenen Fall kann der Kanal selbst auch als Zwischendecke nach Abb. 113 ausgeführt werden, und zwar besonders dann, wenn genügend Raumhöhe zur Verfügung steht. Der Rück- bzw. Um- oder Fortluftkanal könnte mit Vorteil nach der eingezeichneten Art über dem Fenster an der Decke angeordnet werden. Diese Anordnung der Luftein- und Luftaustrittsöffnungen bezweckt eine gute Durchspülung des zu klimatisierenden Raumes mit Frischluft (Zuluft). Die Kanäle brauchen hierbei nicht aus Eisenblech, sondern können aus den uns in genügender Menge zur Verfügung stehenden Materialien wie Torfit, Rabitz, Heraklit, Leichtbauplatten usw. hergestellt zu werden.

Wenn diese genannten Kanäle nach erfolgter Montage gründlich gereinigt werden, erfüllen auch sie den Zweck und sind auch in hygienischer Hinsicht einwandfrei.

Ein anderes Verfahren zur Luftverteilung und Absaugung zeigt Abb. 114. Die Zu- und Rückluftkanäle sind hier beide auf einer Seite übereinander angeordnet.

Die Austrittsgeschwindigkeit der Zuluft muß hierbei je nach der Länge des Raumes etwas größer gewählt werden als sonst üblich. Die Luft wird an der Decke entlang, von hier an der Fensterfläche herunter und über den Fußboden zum Rückluftkanal geblasen. Auch dieses Verfahren bringt eine gute Durchlüftung des Raumes mit sich. Die in Abb. 115 dargestellte Kanal- und Gitteranordnung kann ohne großen Kostenaufwand ausgeführt werden, jedoch muß besonders hier die Ausblasgeschwindigkeit der Zuluft etwas größer gewählt werden als üblich, damit nicht gleich die Zuluft, ohne den Raum zu durchspülen, in den Rücklaufkanal angesaugt wird. Wie schon erwähnt, kann keine

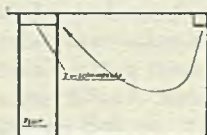


Abb. 113.
Querlüftung.



Abb. 114.
Umwälzlüftung.

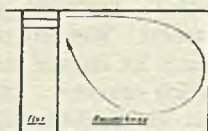


Abb. 115.
Umwälzlüftung.

Ausführungsart von Luftverteilungskanälen als die zweckmäßigste und beste bewertet werden, da diese im wesentlichen von der Art und dem Aufbau eines Neu- oder Altbaues abhängig sind. Allgemein kann nur gesagt werden, daß eine Luftverteilung erst dann einwandfrei ist, wenn diese strömungstechnisch und mit möglichst geringem Widerstand und außerdem gut reinigungsfähig ausgeführt ist. Auch in architektonischer Hinsicht muß der Ausführung besondere Beachtung geschenkt werden, damit das Bauinnere durch die Kanäle keinen schlechten Anblick erhält.

In Abb. 116 sind die Luftkanäle aus Toschi-Material hergestellt und durch Bänderisen und Deckeneisen an der Decke befestigt. Im Hintergrund ist das Klimagerät und die dazugehörige Schalttafel ersichtlich.

Die Zuluft soll dem Raum fein verteilt und zugfrei zugeführt werden. Zugfrei kann die Luft eingeführt werden, wenn insbesondere keine zu hohe Einströmgeschwindigkeit gewählt wird, und feinverteilt, wenn möglichst längliche Ausströmgitter verwendet werden (siehe Abb. 117).

Es wäre verfehlt, an Stelle von zwei langen Gittern einfach nur ein großes Gitter einzubauen. Eine richtige Verteilung der Zuluft ver-

hindert besonders die Bildung sogenannter „toter Ecken“, deren Luft von der Durchspülung der Zuluft nicht genügend berührt wird. Die Zuluft-Ausströmungsgeschwindigkeit soll in der Regel, je nach der Entfernung der in der Ausblasrichtung stehenden Gegenwand (Außen-



Abb. 116. Verlegte Hauptluftkanäle in einem Kellergeschoß.

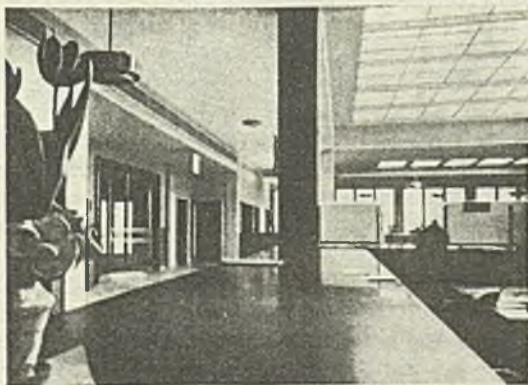


Abb. 117. Anordnung der Zuluftgitter. Der Zuluftkanal ist hierbei als Zwischen-
decke ausgeführt.

oder Innenwand), nicht größer als 2 bis 4 m/sec in normalen Aufenthaltsräumen wie Büros, Krankenzimmern usw. betragen. In Sälen, wie Kinos, Theatern usw. sowie in Bearbeitungshallen, kann die Ausblasegeschwindigkeit entsprechend größer gewählt werden. Sind die Abluftgitter z. B. über Fußboden angeordnet, dann ist die Rückluft-Ansaugeschwindigkeit, zur Vermeidung von Zugerscheinungen, etwas geringer als die

Ausblasegeschwindigkeit zu wählen. So z. B. in Büros, Krankenzimmern usw. nur etwa 0,5 bis 2 m/sec. Außer den Zugerscheinungen wird dadurch auch eine etwaige Staubaufwirbelung verhindert.

Die Unterbringung der nötigen Ausblaseöffnungen im oberen Teil eines Raumes wird selten Schwierigkeiten bereiten. Bedeutend schwieriger ist in vielen Fällen die Unterbringung der Rückluftgitter im unteren Teile eines Raumes. Aus diesem Grunde wird man stets versuchen, die Gitter nach der Abb. 114 unterbringen zu können. Gut ist es, wenn man zur Klärung dieser Frage auch den leitenden Architekten heranzieht und diesem die Vor- oder Nachteile der einen oder anderen Gitter-Anordnung zur Kenntnis bringt. Immer wieder kommt man zu der Erkenntnis, daß zur Lösung aller Aufstellungs- und Anordnungsfragen von Klimaanlage einschl. Luftverteilungskanälen der Architekt herangezogen werden soll, denn, mag das Klimagerät noch so einwandfrei und technisch vollkommen sein, eine schlechte Luftverteilungsanlage vermindert die Qualität der Gesamtklimaanlage u. U. außerordentlich.

Eine gut ausgearbeitete Luftverteilungsanlage zeigt Abb. 118. Wie ersichtlich, sind die Hauptverteilungsleitungen an der Decke des Flurs aufgehängt. Entsprechend bemessene Abzweigleitungen führen die erforderlichen Luftmengen in die zu klimatisierenden Räume; als Luftauslässe sind Anemostate angeordnet worden. Bei guter Anordnung gewährleisten diese eine gute und zugfreie Luftverteilung. Wie aus der ganzen Anordnung der Gesamtanlage ersichtlich, handelt es sich hierbei um eine Frischluftanlage, denn es sind keine Rückluftkanäle vorgesehen. Die Fortluft kann infolge des sich im Raum bildenden Überdruckes durch die in den Außenwänden angeordneten Fortluftöffnungen entweichen. Der Überdruck wird durch die stetige Frischluftzufuhr hervorgerufen und ermäßigt sich erst nach Außerbetriebsetzung des Zuluftlüfters. Gegen Windanfall sind die Fortluftauslässe zu schützen und mit entsprechenden Luftklappen zu versehen. Diese müssen aus Leichtmetallklappen bestehen, so daß zu deren Öffnung nur ein geringer Überdruck erforderlich ist. Die Verlegung eines Fortluftkanals, durch welchen mittels eines Fortluftlüfters die Fortluft angesaugt wird, ist vorzuziehen, denn bei stärkerem und andauerndem Windanfall kann die Fortluft schlecht durch die in Abb. 118 dargestellten Fortluftöffnungen entweichen.

Die Rohrleitungen selbst sind aus verzinktem Eisenblech hergestellt. In Anbetracht der heutigen Lage empfiehlt es sich, dieses Material nicht zu verwenden, sondern sich der vielen Ersatz- und gleichwertigen Materialien wie z. B. der Torfat-Rohre zu bedienen. Genannte Rohre können in runden, quadratischen und rechteckigen Formen hergestellt werden, weisen geringes Gewicht auf und sind temperatur- und feuchtigkeitsbeständig. Außerdem können Luftverteilungskanäle auch aus Leichtbauplatten, Rabitzplatten, Heraklitplatten usw. und letzten Endes auch

gemauert hergestellt werden. Es sind sehr viele Luftverteilungs-Anlagen mit den genannten Materialien ausgeführt worden, die zur vollen Zufriedenheit die Aufgabe erfüllen.

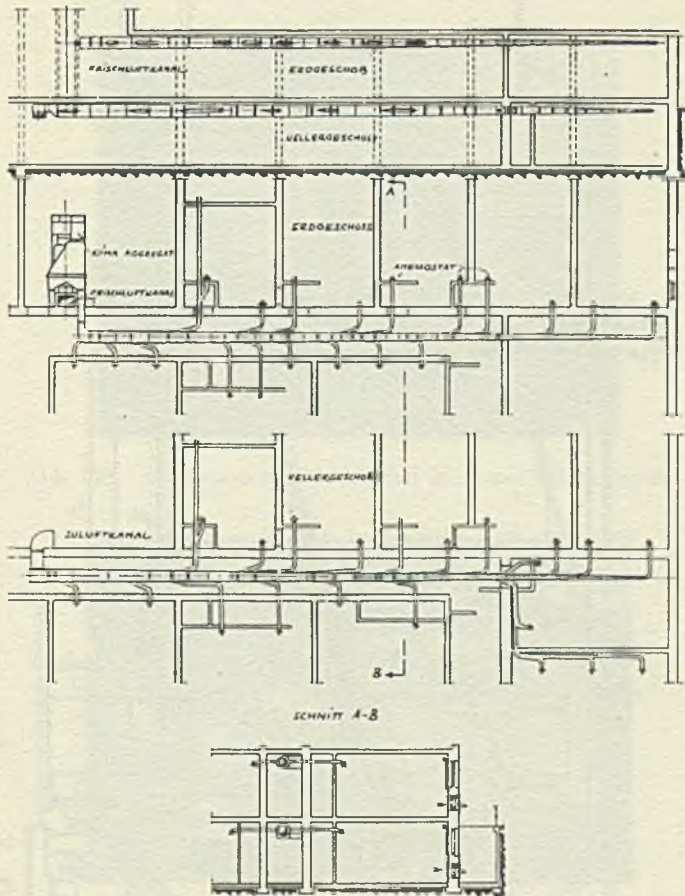


Abb. 118. Luftverteilungsanlage.

Abb. 119 zeigt außer der Aufstellung des Klimagerätes auch eine gute Luftverteilungsanlage für ein Lichtspieltheater. Bei solchen Anlagen muß besonders für zugfreie Luftverteilung und Absaugung gesorgt werden. Die Frischluft wird über Dach entnommen und durch den Frischluftkanal *F* der Mischkammer zugeführt. Die Rückluft wird durch den unter den Sitzplätzen angeordneten Rückluftkanal *E* der

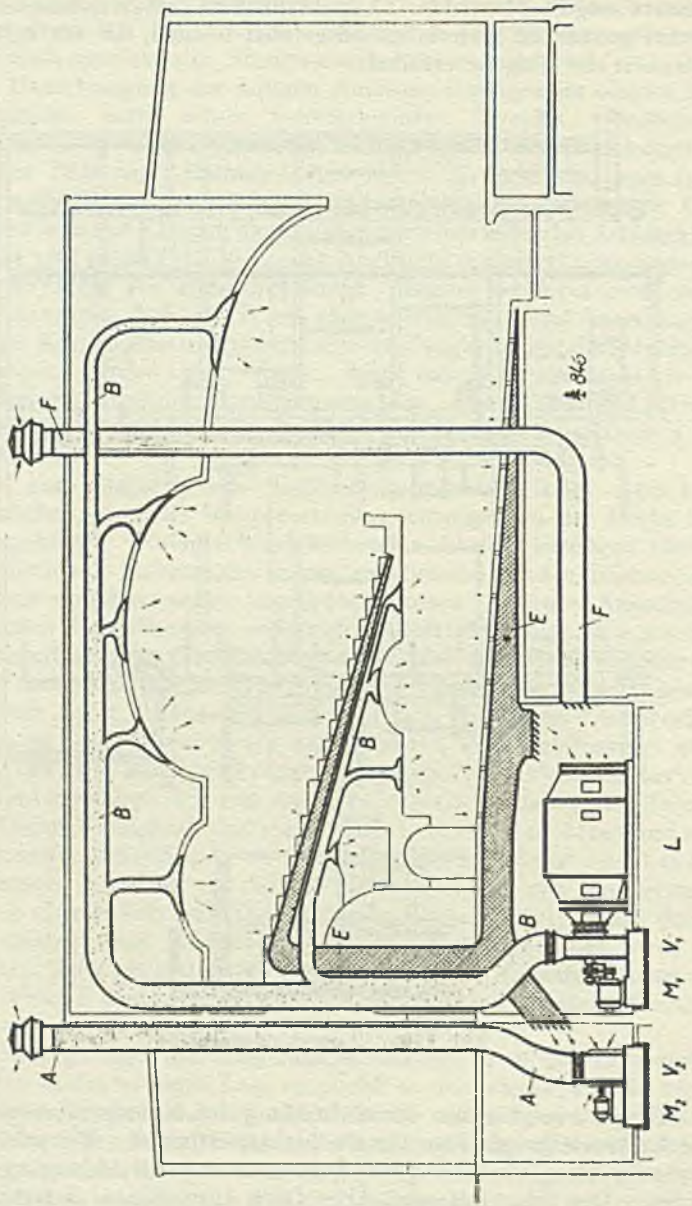


Abb. 119. Klimaanlage mit Luftverteilungsleitungen für ein Lichtspieltheater.
(Werkfoto Kiefer, Stuttgart)

Mischkammer zugeführt. Hierzu sind unter den Sitzplätzen entsprechende Rückluftansauggitter vorgesehen. Die Ansaugung der Frisch- bzw. Rückluft erfolgt durch den Lüfter *L*. Da bekanntlich nur ein Teil der Rückluft verwendet wird, muß der restliche Teil fortgeschafft werden.



Abb. 120. Anordnung der Zuluftgitter in einem Bankgebäude.



Abb. 121. Zuluft einblasung in einem Zeichensaal.

Hierzu ist der Lüfter *C* vorgesehen, der den restlichen Teil durch den Kanal *A* als Fortluft über Dach ins Freie führt. Die Zuluftverteilung erfolgt durch den Kanal *B* und wird durch entsprechende Zuluftöffnungen dem Raum zugeführt. Aus der Abbildung ist außerdem ersichtlich, daß die Kanäle ohne architektonische Verunstaltung des Raumes angeordnet werden können, wozu es jedoch genügender Erfahrung bedarf. In vielen Fällen können die Kanäle in einer Zwischendecke an-

geordnet und die Zuluftöffnungen innenarchitektonisch so gestellt werden, daß diese Öffnungen u. U. überhaupt nicht zu erkennen sind. Diese Kunst bringt die Praxis mit sich.

Die in Abb. 120 dargestellte Zuluftgitter-Anordnung ermöglicht eine feinverteilte Einblasung der Zuluft. Der Zuluftkanal selbst ist als Zwischendecke hergestellt und paßt sich in architektonischer Hinsicht einwandfrei dem Raume an. Bei richtiger Wahl der Zuluftgeschwindigkeit (etwa 3 – 3,5 m/sec in diesem Falle) wird die Zulufteinblasung auch zugfrei sein.

In der Abb. 121 sind die Zuluftöffnungen düsenförmig ausgebaut und in kleinen Abständen angeordnet. Der Zuluftkanal selbst wirkt auch hier nicht störend und nimmt keinen Platz ein, den man nützlicher zu anderen Zwecken hätte verwenden können. Diese Zuluftöffnungsart kann besonders da verwendet werden, wo entweder genügend hohe Raumhöhe zur Verfügung steht oder wo mit Sicherheit anzunehmen ist, daß sich die im Raum befindlichen Personen nicht direkt im Zuluftstrom befinden, wie es in Abb. 121 der Fall ist.

3. Geräuschkämpfung.

Jede Klimaanlage braucht maschinelle Einrichtungen, wie Lüfter mit Elektromotor, Wasserpumpe usw., welche verschiedenartige Geräuschquellen enthalten. Diese Geräusche müssen nun in gewissen Grenzen gehalten werden, um nicht als störend empfunden zu werden. Im folgenden werden die für den Klima-Fachmann erforderlichen Grundbegriffe der Geräuschkämpfung beschrieben.

Als Geräusche bezeichnet man in der Technik die sich in Form von Tönen verschiedener Stärke infolge der Schwingungen bildenden Resonanzen. Die Tonstärke hängt besonders auch von der Stärke der Frequenz ab. In der Technik können sich diese Geräusche einerseits durch feste Wände und Türen sowie durch den Fundamentsockel des Lüfters fortpflanzen (Körperschall), und andererseits durch die Luft (Luftschall).

Als Einheit der Lautstärke dient das Phon, das durch die Gleichung

$$L = 20 \log \cdot \frac{p}{p_0} \quad (62)$$

festgelegt ist.

Hierin bedeuten:

L = Lautstärke,

p = Schalldruck des Tones von 100 Hz,

p_0 = ein fester Wert, nämlich der bei 100 Hz gerade noch wahrnehmende Schalldruck.

Je nach dem Verwendungszweck eines Raumes ist eine gewisse Geräuschstärke in Phon zulässig. So wird z. B. ein Sprechfilmatelier im Gegensatz zu einem Vortragsraum viel geringeren Lärm zulassen. Als zulässige Lärmgrenzen gelten folgende Werte:

Zahlfafel 15.

Zulässige Lärmgrenzen.

Sprechfilmatelier	10 bis 15	Phon
Rundfunkhalle.	10 bis 15	„
Krankenzimmer	15 bis 18	„
Schauspielhäuser, Vortragsräume	18 bis 24	„
Öffentliche Großbüros, Bankhallen	25 bis 35	„
Buchhaltungen und Maschinenschreibbüros	35 bis 45	„
Fabrikräume	40 bis 50	„

Die Geräusche können bei Klimaanlage durch die Lager, namentlich bei Kugel- und Wälzlagern, durch die Schaufeln des Lüfters infolge von Wirbelbildung an den Kanten der Schaufeln und durch unströmungstechnische Ausführung der Luftverteilungskanäle, wie an scharfen Kanten und Ecken sowie durch Eigenschwingungen der Kanalwände, entstehen. Es muß daher stets von Anfang an eine Geräuschenstehung vermieden werden. So sind die Motore nicht mit Kugel- oder Wälzlagern, sondern mit Gleitlagern zu versehen, und die Lüfter mit möglichst geringer Umfangsgeschwindigkeit zu wählen. In Kanäle, welche nicht besonders gut strömungstechnisch hergestellt werden können, so z. B. gemauerte, sind entsprechende Leitplatten einzubauen. Zu schwache Kanalwandungen (Blech, Leichtplatten usw.) sind durch Versteifungen zu verstärken. Außerdem sind stets zwischen den Lüftern und den Kanälen sogenannte Segeltuchstützen anzubringen, was besonders die Fortpflanzung der Geräusche abschwächt. Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß die Lüfter nicht auf Sockel (Fundamente) gestellt werden sollen, die mit dem Fußboden in direkter Verbindung stehen. Stets sind Schwingungsdämpfer oder ähnliches dazwischen zu schalten.

Für solche, die sich mit der Geräuschkämpfung ausführlicher befassen wollen, sei auf den Aufsatz von W. Bausch im „Gesundheits-Ingenieur“ 1936 (S. 757) hingewiesen.



Fachliteratur.

- 1) Dr. Ernst Brezina und Dr. Wilhelm Schmidt, Das künstliche Klima in der Umgebung des Menschen. Ferdinand-Enke-Verlag, Stuttgart 1937.
- 2) Dr. phil. habil. Franz Bradtke, VDI, Berlin, Z. VDI., Bd. 82 (1938), S. 1473.
- 3) Klimaatlas von Deutschland. Springer-Verlag, Berlin.
- 4) Dr.-Ing. H. Gröber-Rietschel, Heiz- und Lüftungstechnik, 10. Auflage, 1934. Springer-Verlag, Berlin.
- 5) „Regeln“ für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden und für die Berechnung der Kessel- und Heizkörpergrößen von Heizungsanlagen, DIN 4701. Ausgabe 1929. Beuth-Vertriebs-G. m. b. H., Berlin SW 68.
- 6) Dr. Liese, Befeuchtung in beheizten Räumen. Dtsch. med. Wchschr. 1933, Nr. 33, S. 1172.
- 7) Dr. phil. habil. Franz Bradtke, VDI, Berlin. Rietschel, Heiz- und Lüftungstechnik, IX. Abschnitt.
- 8) R. Abmann, Die Winde in Deutschland; Verlag F. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1910.
- 9) Hougteen and Yagloglon, Determining lines of equal comfort. Trans. Amer. Soc. of heat. a. rent. ingenieur, Bd. 29 (1923), S. 163.
- 10) Dr. techn. Karl R. Rybka, Klimatechnik. Verlag R. Oldenbourg, 1938.
- 11) M. Rubner, Handbuch der Hygiene, 8. Auflage (1907).
- 12) Obering. E. Wirth, Aus der Physik der Raumheizung. Werbeschrift der Firma Sulzer A.-G., Winterthur, Schweiz.
- 13) Dr. Ing. J. S. Cammerer und W. Christian, Wärmew. Nachr. Hausbau, Bd. 7 (1934), S. 116 und 138; Bd. 8 (1935), S. 121.
- 14) Dipl.-Ing. Kurt Gehrenbeck und Dipl.-Ing. Eberhard Sprenger, H. Recknagels Kalender für Gesundheits- und Wärmetechnik. R. Oldenbourg-Verlag 1941.
- 15) F. Alter, Baufragen im Krankenwesen. Gesundh.-Ing., Bd. 50 (1927), S. 629/640.
- 16) B. Richter, VDI, Berlin, Zur Frage der Luftreinigung bei Klima- und Lüftungsanlagen. Wärme- und Kältetechnik 1940, Heft 4, S. 53-55. Springer-Verlag, Berlin W. 9.
- 17) Dipl.-Ing. E. Sprenger, VDI., Berlin, Regeln und Regelung in Klimaanlagen. Heizung und Lüftung, Heft 9 (1940), VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7.
- 18) VDI-Lüftungsregeln. Regeln zur Lüftung von Versammlungsräumen. Herausgegeben vom VDI. VDI.-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7.
- 19) Obering. J. Ritter, VDI., Hannover. Klingers Badekalender, 1941. Carl Marhold Verlag, Halle a. S.
- 20) Dr.-Ing. Liesegang, Elektr. Messen u. Regeln in Lüftungsanlagen; in „Die Lüftung von Aufenthalts- und Versammlungsräumen“, VDHI Berlin 1933.

Zahlentafel I.

Tabelle über gesättigte Wasserdämpfe nach Knoblauch, Raisch, Hausen¹⁾.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Druck kg/cm ² abs.	Sättigungs- temperatur C°	Spez. Vo- lumen des gesättigten Dampfes m ³ /kg	Spez. Ge- wicht des Dampfes kg/m ³	Wärme-Inhalt der Flüssig- keit kcal/kg	Inhalt des Dampfes kcal/kg	Ver- damp- fungs- wärme kcal/kg <i>i''—i'</i> = <i>r</i>
<i>p</i>	<i>t_s</i>	<i>v</i>	<i>γ</i>	<i>i'</i>	<i>i''</i>	
0,02	17,19	68,2977	0,014642	17,2	604,1 ₅	586,9 ₅
0,04	28,63	35,4735	0,028190	28,6 ₅	609,5 ₅	580,9
0,06	35,82	24,2000	0,041322	35,8	612,9	577,1
0,08	41,16	18,4549	0,054186	41,2	615,3	574,1
0,10	45,44	14,9584	0,066852	45,4	617,2	571,8
0,15	53,59	10,2172	0,097874	53,6	620,7	567,1
0,20	59,66	7,79821	0,12823	59,6 ₅	623,3 ₅	563,7
0,25	64,56	6,32508	0,15810	64,5	625,4	560,9
0,30	68,68	5,33093	0,18758	68,7	627,2	558,5
0,35	72,26	4,61376	0,21674	72,3	628,7	556,4
0,40	75,42	4,07083	0,24565	75,4	630,0	554,6
0,45	78,27	3,64571	0,27429	78,3	631,2	552,9
0,5	80,87	3,30311	0,30274	80,9	632,2 ₅	551,9 ₅
0,6	85,45	2,78459	0,35911	85,5	634,1	548,6
0,7	89,45	2,41047	0,41486	89,5	635,7	546,2
0,8	92,99	2,12725	0,47009	93,0	637,1	544,1
0,9	96,17	1,90514	0,52490	96,3	683,3	542,0
1,0	99,08	1,72629	0,57928	99,2	639,4 ₅	540,2 ₅
1,2	104,24	1,45547	0,68706	104,4	641,4	537,0
1,4	108,73	1,25990	0,79371	108,9 ₅	643,1	534,1 ₅
1,6	112,72	1,11188	0,89938	113,0	644,5	531,5
1,8	116,33	0,99580	1,0042	116,7	645,8	529,1
2,0	119,61	0,90221	1,1084	120,0	646,9	526,9
2,5	126,78	0,73201	1,3661	127,3	649,3	522,0
3,0	132,87	0,61698	1,6208	133,5	651,2	517,7
3,5	138,18	0,53375	1,8735	139,0	652,8	513,8
4,0	142,91	0,47082	2,1240	143,8	654,2	510,4
4,5	147,19	0,42159	2,3720	148,3	655,4	507,1
5,0	151,10	0,38177	2,6194	152,3	656,4	504,1

¹⁾ Tabellen und Diagramme für Wasserdampf von Dr. phil. Dr.-Ing. O. Knoblauch, Dipl.-Ing. E. Raisch, Dipl.-Ing. H. Hausen. 1923. Verlag R. Oldenbourg, München.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Druck	Sättigungs- temperatur	Spez. Vo- lumen des gesättigten Dampfes	Spez. Ge- wicht des Dampfes	Wärme-Inhalt der Flüssig- keit	Inhalt des Dampfes	Ver- damp- fungs- wärme
kg/cm ² abs.	C°	m ³ /kg	kg/m ³	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
p	t_s	v	γ	i'	i''	$i'' - i' = r$
5,5	154,71	0,34889	2,8663	156,0	657,3	501,3
6,0	158,07	0,32139	3,1115	159,5	658,2	498,7
6,5	161,21	0,29796	3,3562	162,8	658,9	496,1
7,0	164,16	0,27780	3,5997	165,8	659,5	493,7
7,5	166,96	0,26023	3,8428	168,7 ₅	660,1	491,3 ₅
8,0	169,59	0,24477	4,0855	171,5	660,7	489,2
8,5	172,12	0,23110	4,3271	174,2	661,2	487,0
9,0	174,52	0,21887	4,5689	176,6 ₅	661,6 ₅	485,0
9,5	176,82	0,20790	4,8100	179,1	662,1	483,0
10,0	179,03	0,19797	5,0513	181,4	662,5	481,1
11,0	183,20	0,18078	5,5316	185,8	663,2	477,4
12,0	187,08	0,16635	6,0114	189,9	663,7	473,8
13,0	190,71	0,15406	6,4910	193,8	664,2	470,4
14,0	194,14	0,14343	6,9720	197,4	664,6	467,2
15,0	197,37	0,13421	7,4510	200,8 ₅	664,9 ₅	464,1
16,0	200,44	0,12608	7,9315	204,1	665,3	461,2
17,0	203,36	0,11891	8,4097	207,3	665,6	458,3
18,0	206,15	0,11246	8,8921	210,2 ₅	665,8	455,5 ₅
19,0	208,82	0,10670	9,3721	213,1	666,0	452,9
20,0	211,39	0,10150	9,8522	215,9	666,2	450,3
22,0	216,24	0,09241	10,821	221,15	666,4	445,2 ₅
24,0	220,75	0,08485	11,786	226,1	666,6 ₅	440,5 ₅
26,0	224,99	0,07834	12,765	230,7	666,7	436,0
28,0	228,99	0,07277	13,742	235,1	666,8	431,7
30,0	232,77	0,06789	14,730	239,25	666,8	427,5 ₅
34,0	239,78	0,05980	16,722	247,0	666,7	419,7
38,0	246,19	0,05336	18,741	254,15	666,5	412,3 ₅
42,0	252,09	0,04809	20,794	260,8	666,3	405,5
46,0	257,58	0,04372	22,873	267,0	666,0	399,0
50,0	262,72	0,04001	24,994	272,85	665,75	392,9
55,0	268,72	0,03612	27,685	279,7	665,5	385,8
60,0	274,32	0,03285	30,441	286,15	665,2	379,0 ₅

Zahlentafel II. Tabelle über Gewicht, Rauminhalt und Dichtigkeit der Luft.

Temperatur in Celsiusgraden	Gewicht in kg von 1 m ³ trockener Luft bei normalem Barometerstand	1 m ³ trockene Luft von 0° gibt m ³ von t° $1 + at$	1 m ³ trockene Luft von t° gibt m ³ von 0° $\frac{1}{1 + at}$
— 20	1,3955	0,9267	1,0791
15	1,3688	0,9450	1,0581
10	1,3424	0,9634	1,0380
5	1,3173	0,9817	1,0187
4	1,3124	0,9853	1,0149
3	1,3076	0,9890	1,0111
2	1,3026	0,9927	1,0074
— 1	1,2979	0,9963	1,0037
0	1,2932	1,0000	1,0000
+ 1	1,2884	1,0037	0,9964
2	1,2883	1,0073	0,9927
3	1,2791	1,0110	0,9891
4	1,2748	1,0147	0,9856
5	1,2699	1,0183	0,9820
6	1,2654	1,0220	0,9785
7	1,2611	1,0257	0,9750
8	1,2564	1,0293	0,9715
9	1,2519	1,0330	0,9685
10	1,2475	1,0367	0,9647
11	1,2431	1,0403	0,9613
12	1,2387	1,0440	0,9579
13	1,2347	1,0477	0,9545
14	1,2301	1,0513	0,9512
15	1,2250	1,0550	0,9479
16	1,2217	1,0587	0,9446
17	1,2173	1,0623	0,9414
18	1,2130	1,0660	0,9381
19	1,2096	1,0696	0,9349
20	1,2049	1,0733	0,9317
21	1,2008	1,0770	0,9285

Temperatur in Celsiusgraden	Gewicht in kg von 1 m ³ trockener Luft bei normalem Barometerstand	1 m ³ trockene Luft von 0° gibt m ³ von t° $1 + at$	1 m ³ trockene Luft von t° gibt m ³ von 0° $\frac{1}{1 + at}$
22	1,1967	1,0806	0,9254
23	1,1927	1,0843	0,9223
24	1,1888	1,0880	0,9192
25	1,1847	1,0916	0,9161
26	1,1807	1,0953	0,9130
27	1,1768	1,0990	0,9100
28	1,1726	1,1026	0,9069
29	1,1689	1,1063	0,9039
30	1,1650	1,1100	0,9009
31	1,1613	1,1136	0,8980
32	1,1574	1,1173	0,8950
33	1,1537	1,1210	0,8921
34	1,1497	1,1246	0,8892
35	1,1462	1,1283	0,8863
36	1,1424	1,1319	0,8834
37	1,1388	1,1356	0,8802
38	1,1352	1,1393	0,8778
39	1,1315	1,1429	0,8750
40	1,1279	1,1466	0,8722
41	1,1243	1,1503	0,8694
42	1,1208	1,1539	0,8667
43	1,1172	1,1576	0,8639
44	1,1136	1,1613	0,8611
45	1,1101	1,1649	0,8584
46	1,1066	1,1686	0,8557
47	1,1032	1,1723	0,8531
48	1,0997	1,1750	0,8504
49	1,0964	1,1796	0,8478
50	1,0929	1,1833	0,8451
60	1,0600	1,2199	0,8197
70	1,0291	1,2566	0,7958

Temperatur in Celsiusgraden	Gewicht in kg von 1 m ³ trockener Luft bei normalem Barometerstand	1 m ³ trockene Luft von 0° gibt m ³ von t° 1 + at	1 m ³ trockene Luft von t° gibt m ³ von 0° $\frac{1}{1 + at}$
80	1,0000	1,2932	0,7733
90	0,9725	1,3290	0,7520
100	0,9464	1,3665	0,7318
110	0,9217	1,4032	0,7127
120	0,8981	1,4398	0,6945
130	0,8759	1,4765	0,6773
140	0,8547	1,5131	0,6609
150	0,8345	1,5498	0,6453
160	0,8152	1,5864	0,6304
170	0,7967	1,6231	0,6161
180	0,7792	1,6597	0,6025
190	0,7623	1,6964	0,5908
200	0,7462	1,7330	0,5782
225	0,709	1,825	0,548
250	0,675	1,916	0,522
275	0,644	2,008	0,498
300	0,616	2,100	0,476
350	0,567	2,283	0,438
400	0,524	2,466	0,406

Zahlen-
Tau-

° C	Relative Feuchtig-						
	30	35	40	45	50	55	60
	Tau-						
± 0	-14,20	-12,20	-10,80	- 9,90	- 9,20	- 8,20	- 6,50
+ 2	-12,10	-10,20	- 9,30	- 8,00	- 7,10	- 5,70	- 4,80
+ 4	-10,30	- 9,20	- 8,00	- 6,10	- 5,30	- 4,10	- 2,90
+ 6	- 9,20	- 7,50	- 6,00	- 4,30	- 3,70	- 2,20	- 1,30
+ 8	- 8,00	- 6,10	- 4,30	- 3,00	- 1,90	- 0,60	- 0,60
+10	- 6,10	- 4,00	- 2,40	- 1,10	± 0,00	+ 1,50	+ 2,50
+12	- 4,30	- 2,50	- 1,10	+ 0,70	+ 2,00	+ 3,20	+ 4,30
+14	- 3,00	- 1,20	+ 0,60	+ 2,30	+ 3,70	+ 4,80	+ 6,20
+16	- 1,20	+ 0,50	+ 2,30	+ 4,10	+ 5,60	+ 7,00	+ 8,30
+18	± 0,00	+ 2,40	+ 4,30	+ 6,10	+ 7,40	+ 8,90	+10,00
+20	+ 2,00	+ 4,10	+ 6,30	+ 8,00	+ 9,20	+10,50	+12,00
+22	+ 3,50	+ 6,10	+ 8,00	+ 9,80	+11,10	+12,70	+14,00
+24	+ 5,70	+ 7,80	+ 9,80	+11,20	+13,00	+14,30	+15,70
+26	+ 7,20	+ 9,60	+12,00	+13,10	+14,80	+16,20	+17,70
+28	+ 8,90	+11,20	+13,20	+14,90	+16,70	+18,20	+19,10
+30	+10,60	+12,80	+14,90	+16,80	+18,30	+19,90	+21,40
+32	+12,40	+14,70	+16,70	+18,80	+20,30	+21,70	+23,50
+34	+14,00	+16,40	+18,50	+20,70	+22,20	+23,80	+25,20

Diese Werte sind graphisch nach

tafel IV.
punkte.

keit in %							
65	70	75	80	85	90	95	100
punkte							
- 5,70	- 4,90	- 3,70	- 3,00	- 2,20	- 1,50	- 0,60	± 0
- 3,70	- 2,50	- 1,90	- 0,90	± 0,00	+ 0,90	+ 1,50	+ 2
- 1,90	- 0,90	± 0,00	+ 0,90	+ 1,80	+ 2,40	+ 3,20	+ 4
± 0,00	+ 0,90	+ 1,00	+ 2,90	+ 3,80	+ 4,50	+ 5,10	+ 6
+ 1,80	+ 2,70	+ 3,80	+ 4,50	+ 5,50	+ 6,40	+ 7,20	+ 8
+ 3,70	+ 4,50	+ 5,80	+ 6,80	+ 7,60	+ 8,50	+ 9,20	+10
+ 5,50	+ 6,80	+ 7,80	+ 8,50	+ 9,60	+10,50	+11,30	+12
+ 7,40	+ 8,50	+ 9,60	+10,50	+11,40	+12,30	+13,10	+14
+ 9,40	+10,50	+11,60	+12,60	+13,50	+14,40	+15,20	+16
+11,30	+12,40	+13,50	+14,60	+15,50	+16,50	+17,20	+18
+13,10	+14,40	+15,50	+16,50	+17,40	+18,30	+19,10	+20
+15,10	+16,50	+17,60	+18,30	+19,10	+20,40	+21,20	+22
+16,90	+18,20	+19,30	+20,20	+21,40	+22,20	+23,10	+24
+18,90	+20,00	+21,10	+22,30	+23,50	+24,40	+25,20	+26
+20,80	+22,00	+23,40	+24,30	+25,30	+26,40	+27,00	+28
+22,70	+24,00	+25,20	+26,30	+27,40	+28,30	+29,20	+30
+24,60	+25,90	+27,00	+28,10	+29,30	+30,20	+31,30	+32
+26,50	+27,80	+29,00	+30,10	+31,30	+32,20	+33,10	+34

dem *t-x*-Diagramm ermittelt.

Zahlentafel V.

Verhältnis zwischen der Temperatur der Luft und deren Gehalt an Wasserdämpfen im Sättigungszustand.

Temperatur t	1 m ³ trockene Luft in kg	1,0 m ³ gesätt. Luft enthält. Wasser in g	Druck d. Wasser- dampfes in mm Queck- silber	Temperatur t	1 m ³ trockene Luft in kg	1,0 m ³ gesätt. Luft enthält. Wasser in g	Druck d. Wasser- dampfes in mm Queck- silber
1	2	3	4	1	2	3	4
—20	1,396	1,1	0,927	+21	1,201	18,2	18,495
—15	1,368	1,6	1,400	+22	1,197	19,3	19,659
—14	1,363	1,7	1,549	+23	1,193	20,4	20,888
—13	1,358	1,9	1,686	+24	1,189	21,6	22,184
—12	1,353	2,0	1,831	+25	1,185	22,9	23,550
—11	1,348	2,2	1,982	+26	1,181	24,2	24,988
—10	1,342	2,3	2,098	+27	1,177	25,6	26,505
— 9	1,337	2,5	2,267	+28	1,173	27,0	28,100
— 8	1,332	2,7	2,455	+29	1,169	28,5	29,782
— 7	1,327	2,9	2,658	+30	1,165	30,1	31,548
— 6	1,322	3,1	2,876	+31	1,161	31,8	33,406
— 5	1,317	3,4	3,113	+32	1,154	33,5	35,359
— 4	1,312	3,6	3,368	+33	1,157	35,4	37,411
— 3	1,308	3,9	3,644	+34	1,150	37,3	39,565
— 2	1,303	4,2	3,941	+35	1,146	39,3	41,827
— 1	1,298	4,5	4,263	+36	1,142	41,4	44,201
0	1,293	4,9	4,600	+37	1,139	43,6	46,691

Die Zahlen gelten für den normalen Barometerstand von 760 mm Quecksilbersäule.

Temperatur	1 m ³ trockene Luft in kg	1,0 m ³ gesätt. Luft enthält. Wasser in g	Druckd. Wasserdampfes in mm Quecksilber	Temperatur	1 m ³ trockene Luft in kg	1,0 m ³ gesätt. Luft enthält. Wasser in g	Druckd. Wasserdampfes in mm Quecksilber
1	2	3	4	1	2	3	4
+ 1	1,288	5,2	4,940	+38	1,135	45,9	49,302
+ 2	1,284	5,6	5,302	+39	1,132	48,3	52,039
+ 3	1,279	6,0	5,687	+40	1,128	50,8	54,906
+ 4	1,275	6,4	6,097	+41	1,124	53,4	57,910
+ 5	1,270	6,8	6,534	+42	1,121	56,1	61,055
+ 6	1,265	7,3	6,998	+43	1,117	58,9	64,346
+ 7	1,261	7,7	7,492	+44	1,114	61,9	67,790
+ 8	1,251	8,3	8,017	+45	1,110	65,0	71,391
+ 9	1,252	8,8	8,574	+50	1,093	82,3	91,982
+10	1,248	9,4	9,165	+55	1,076	103,6	117,478
+11	1,243	9,9	9,762	+60	1,060	129,3	148,791
+12	1,239	10,6	10,457	+65	1,044	160,0	186,945
+13	1,235	11,3	11,162	+70	1,029	196,6	233,093
+14	1,230	12,0	11,908	+75	1,014	239,9	288,517
+15	1,226	12,8	12,699	+80	1,000	290,7	354,643
+16	1,222	13,6	13,536	+85	0,986	350,0	433,041
+17	1,217	14,4	14,421	+90	0,973	418,8	525,392
+18	1,213	15,3	15,357	+95	0,959	498,3	633,692
+19	1,209	16,2	16,346	+100	0,947	589,5	760,000
+20	1,205	17,2	17,391				

Die Zahlen gelten für den normalen Barometerstand von 760 mm Quecksilberstand.

Zahlentafel VI. Tabelle über Kanalquerschnitte in m² für Luftmengen¹⁾.
Von 10 bis 50000 m³ mit den Geschwindigkeiten v = 0,3 bis 4,0 m/sec.

m ³	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
10	0,0093	0,0069	0,0056	0,0046	0,0040	0,0035	0,0031	0,0028	0,0025	0,0023
20	0,0185	0,0139	0,0111	0,0093	0,0079	0,0069	0,0062	0,0055	0,0051	0,0046
30	0,0278	0,0208	0,0167	0,0139	0,0119	0,0104	0,0093	0,0083	0,0076	0,0069
40	0,0370	0,0278	0,0222	0,0185	0,0159	0,0139	0,0123	0,0111	0,0101	0,0093
50	0,0463	0,0347	0,0278	0,0231	0,0198	0,0174	0,0154	0,0139	0,0126	0,0116
60	0,0555	0,0417	0,0333	0,0278	0,0238	0,0208	0,0185	0,0163	0,0151	0,0139
70	0,0648	0,0486	0,0389	0,0324	0,0278	0,0243	0,0216	0,0194	0,0177	0,0162
80	0,0741	0,0556	0,0444	0,0370	0,0317	0,0278	0,0247	0,0222	0,0202	0,0185
90	0,0833	0,0625	0,0500	0,0416	0,0357	0,0313	0,0278	0,0250	0,0227	0,0208
100	0,0926	0,0695	0,0555	0,0463	0,0397	0,0347	0,0308	0,0278	0,0252	0,0231
110	0,1019	0,0759	0,0611	0,0509	0,0436	0,0382	0,0339	0,0305	0,0277	0,0254
120	0,1111	0,0833	0,0666	0,0555	0,0476	0,0416	0,0368	0,0333	0,0303	0,0278
130	0,1203	0,0902	0,0722	0,0601	0,0516	0,0450	0,0400	0,0361	0,0328	0,0301
140	0,1296	0,0972	0,0777	0,0648	0,0556	0,0486	0,0432	0,0389	0,0353	0,0324
150	0,1389	0,1042	0,0833	0,0694	0,0595	0,0521	0,0463	0,0416	0,0379	0,0347
160	0,1481	0,1111	0,0889	0,0741	0,0635	0,0556	0,0494	0,0444	0,0404	0,0370
170	0,1573	0,1180	0,0944	0,0787	0,0674	0,0590	0,0524	0,0472	0,0429	0,0393
180	0,1667	0,1250	0,1000	0,0833	0,0714	0,0625	0,0556	0,0500	0,0454	0,0416
190	0,1759	0,1320	0,1055	0,0879	0,0754	0,0665	0,0585	0,0528	0,0479	0,0433
200	0,1852	0,1389	0,1111	0,0926	0,0798	0,0694	0,0617	0,0555	0,0505	0,0463
210	0,1945	0,1454	0,1166	0,0972	0,0833	0,0729	0,0647	0,0583	0,0530	0,0485
220	0,2038	0,1518	0,1222	0,1018	0,0872	0,0764	0,0678	0,0616	0,0555	0,0508
230	0,2130	0,1592	0,1277	0,1064	0,0912	0,0798	0,0709	0,0638	0,0580	0,0532
240	0,2222	0,1666	0,1333	0,1111	0,0952	0,0832	0,0746	0,0666	0,0606	0,0556
250	0,2315	0,1736	0,1389	0,1157	0,0992	0,0868	0,0772	0,0694	0,0631	0,0578

260	0,2407	0,1805	0,1445	0,1203	0,1032	0,0901	0,0802	0,0722	0,0656	0,0602
270	0,2499	0,1874	0,1499	0,1249	0,1075	0,0937	0,0832	0,0750	0,0681	0,0625
280	0,2592	0,1944	0,1555	0,1296	0,1111	0,0972	0,0864	0,0778	0,0706	0,0648
290	0,2685	0,2014	0,1610	0,1342	0,1151	0,1007	0,0895	0,0805	0,0732	0,0671
300	0,2778	0,2084	0,1667	0,1389	0,1190	0,1042	0,0926	0,0833	0,0757	0,0694
310	0,2870	0,2153	0,1722	0,1435	0,1230	0,1077	0,0957	0,0860	0,0783	0,0717
320	0,2962	0,2222	0,1778	0,1482	0,1270	0,1111	0,0988	0,0889	0,0808	0,0740
330	0,3054	0,2291	0,1834	0,1528	0,1309	0,1146	0,1018	0,0916	0,0833	0,0763
340	0,3146	0,2360	0,1889	0,1564	0,1348	0,1180	0,1049	0,0944	0,0858	0,0786
350	0,3241	0,2431	0,1944	0,1620	0,1389	0,1215	0,1080	0,0972	0,0884	0,0810
360	0,3333	0,2504	0,2000	0,1666	0,1428	0,1250	0,1111	0,1000	0,0908	0,0832
370	0,3426	0,2570	0,2055	0,1712	0,1468	0,1286	0,1142	0,1028	0,0933	0,0855
380	0,3518	0,2640	0,2110	0,1758	0,1508	0,1321	0,1172	0,1050	0,0958	0,0878
390	0,3611	0,2709	0,2166	0,1805	0,1547	0,1355	0,1203	0,1083	0,0984	0,0902
400	0,3704	0,2778	0,2222	0,1852	0,1587	0,1389	0,1234	0,1111	0,1010	0,0926
410	0,3797	0,2843	0,2277	0,1898	0,1626	0,1423	0,1264	0,1138	0,1035	0,0948
420	0,3890	0,2908	0,2332	0,1944	0,1666	0,1458	0,1294	0,1166	0,1061	0,0970
430	0,3983	0,2972	0,2388	0,1990	0,1705	0,1493	0,1325	0,1194	0,1086	0,0993
440	0,4076	0,3036	0,2444	0,2036	0,1744	0,1528	0,1356	0,1222	0,1111	0,1016
450	0,4166	0,3125	0,2500	0,2083	0,1786	0,1562	0,1389	0,1250	0,1136	0,1042
460	0,4260	0,3184	0,2556	0,2128	0,1824	0,1596	0,1418	0,1276	0,1161	0,1064
470	0,4352	0,3258	0,2610	0,2175	0,1864	0,1640	0,1450	0,1304	0,1186	0,1088
480	0,4444	0,3333	0,2667	0,2222	0,1904	0,1666	0,1492	0,1333	0,1212	0,1111
490	0,4537	0,3402	0,2722	0,2268	0,1944	0,1701	0,1528	0,1361	0,1237	0,1134
500	0,4629	0,3472	0,2778	0,2315	0,1984	0,1736	0,1543	0,1389	0,1262	0,1157

Fortsetzung der Tabelle über Kanalquerschnitte in m² für Luftmengen.

1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5	4,0	m ³
0,0019	0,0017	0,0015	0,0014	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010	0,0009	0,0008	0,0007	10
0,0040	0,0035	0,0031	0,0028	0,0025	0,0023	0,0021	0,0020	0,0018	0,0016	0,0014	20
0,0059	0,0052	0,0046	0,0041	0,0038	0,0035	0,0032	0,0030	0,0028	0,0024	0,0021	30
0,0079	0,0071	0,0062	0,0056	0,0050	0,0046	0,0042	0,0039	0,0037	0,0032	0,0028	40
0,0099	0,0087	0,0077	0,0069	0,0063	0,0057	0,0053	0,0050	0,0046	0,0040	0,0035	50
0,0119	0,0104	0,0093	0,0083	0,0077	0,0069	0,0064	0,0060	0,0055	0,0048	0,0042	60
0,0139	0,0122	0,0108	0,0097	0,0088	0,0081	0,0075	0,0069	0,0065	0,0055	0,0049	70
0,0159	0,0139	0,0123	0,0111	0,0096	0,0093	0,0085	0,0079	0,0074	0,0063	0,0056	80
0,0178	0,0156	0,0139	0,0125	0,0114	0,0104	0,0096	0,0089	0,0083	0,0071	0,0063	90
0,0198	0,0174	0,0154	0,0139	0,0126	0,0116	0,0107	0,0099	0,0093	0,0079	0,0069	100
0,0217	0,0192	0,0169	0,0154	0,0138	0,0128	0,0118	0,0109	0,0102	0,0087	0,0076	110
0,0238	0,0208	0,0185	0,0167	0,0151	0,0138	0,0128	0,0119	0,0111	0,0093	0,0083	120
0,0257	0,0225	0,0200	0,0181	0,0164	0,0150	0,0139	0,0129	0,0120	0,0103	0,0091	130
0,0278	0,0243	0,0216	0,0194	0,0177	0,0162	0,0149	0,0139	0,0129	0,0111	0,0097	140
0,0297	0,0260	0,0231	0,0208	0,0189	0,0174	0,0160	0,0149	0,0139	0,0119	0,0104	150
0,0317	0,0278	0,0247	0,0222	0,0202	0,0185	0,0171	0,0159	0,0148	0,0127	0,0111	160
0,0337	0,0295	0,0262	0,0236	0,0214	0,0196	0,0181	0,0169	0,0157	0,0135	0,0118	170
0,0357	0,0318	0,0278	0,0250	0,0227	0,0208	0,0192	0,0178	0,0166	0,0143	0,0125	180
0,0376	0,0332	0,0293	0,0264	0,0240	0,0220	0,0203	0,0188	0,0176	0,0150	0,0132	190
0,0397	0,0347	0,0308	0,0278	0,0252	0,0231	0,0213	0,0198	0,0185	0,0158	0,0139	200
0,0415	0,0365	0,0323	0,0293	0,0264	0,0244	0,0224	0,0208	0,0195	0,0166	0,0145	210
0,0435	0,0382	0,0338	0,0308	0,0277	0,0256	0,0234	0,0218	0,0204	0,0174	0,0153	220
0,0455	0,0399	0,0354	0,0321	0,0289	0,0266	0,0245	0,0228	0,0213	0,0182	0,0159	230
0,0476	0,0416	0,0368	0,0333	0,0303	0,0276	0,0254	0,0238	0,0222	0,0190	0,0167	240
0,0496	0,0434	0,0385	0,0347	0,0316	0,0289	0,0267	0,0248	0,0232	0,0198	0,0174	250

— 214 —

0,0516	0,0451	0,0401	0,0362	0,0328	0,0301	0,0280	0,0260	0,0240	0,0207	0,0182	260
0,0535	0,0468	0,0416	0,0375	0,0341	0,0312	0,0288	0,0268	0,0249	0,0214	0,0188	270
0,0556	0,0486	0,0432	0,0388	0,0353	0,0324	0,0298	0,0278	0,0259	0,0222	0,0194	280
0,0575	0,0503	0,0447	0,0402	0,0365	0,0336	0,0309	0,0288	0,0268	0,0230	0,0201	290
0,0595	0,0521	0,0463	0,0416	0,0378	0,0347	0,0321	0,0298	0,0278	0,0238	0,0208	300
0,0614	0,0538	0,0478	0,0430	0,0391	0,0359	0,0331	0,0308	0,0287	0,0246	0,0215	310
0,0635	0,0556	0,0494	0,0444	0,0404	0,0370	0,0342	0,0317	0,0296	0,0254	0,0222	320
0,0654	0,0573	0,0509	0,0358	0,0416	0,0381	0,0352	0,0328	0,0305	0,0263	0,0229	330
0,0675	0,0591	0,0525	0,0473	0,0429	0,0393	0,0362	0,0339	0,0314	0,0271	0,0237	340
0,0694	0,0607	0,0540	0,0486	0,0442	0,0405	0,0374	0,0347	0,0324	0,0278	0,0243	350
0,0714	0,0625	0,0556	0,0500	0,0454	0,0417	0,0384	0,0357	0,0333	0,0286	0,0250	360
0,0733	0,0642	0,0571	0,0514	0,0467	0,0429	0,0395	0,0367	0,0342	0,0294	0,0257	370
0,0752	0,0660	0,0586	0,0528	0,0480	0,0441	0,0407	0,0377	0,0352	0,0301	0,0264	380
0,0773	0,0677	0,0602	0,0542	0,0492	0,0452	0,0416	0,0387	0,0361	0,0308	0,0271	390
0,0794	0,0694	0,0617	0,0556	0,0504	0,0463	0,0427	0,0397	0,0369	0,0317	0,0278	400
0,0813	0,0712	0,0631	0,0571	0,0517	0,0475	0,0438	0,0407	0,0380	0,0325	0,0284	410
0,0833	0,0730	0,0646	0,0586	0,0529	0,0488	0,0449	0,0417	0,0390	0,0332	0,0291	420
0,0852	0,0747	0,0662	0,0599	0,0542	0,0499	0,0461	0,0426	0,0399	0,0340	0,0298	430
0,0871	0,0764	0,0676	0,0616	0,0555	0,0512	0,0471	0,0437	0,0408	0,0348	0,0306	440
0,0898	0,0781	0,0694	0,0628	0,0568	0,0521	0,0481	0,0446	0,0417	0,0356	0,0312	450
0,0911	0,0798	0,0709	0,0642	0,0581	0,0533	0,0491	0,0457	0,0426	0,0364	0,0319	460
0,0932	0,0816	0,0727	0,0654	0,0592	0,0543	0,0501	0,0467	0,0435	0,0372	0,0326	470
0,0952	0,0833	0,0740	0,0666	0,0606	0,0556	0,0510	0,0476	0,0444	0,0380	0,0333	480
0,0972	0,0850	0,0755	0,0680	0,0618	0,0566	0,0520	0,0486	0,0453	0,0389	0,0340	490
0,0992	0,0868	0,0771	0,0694	0,0631	0,0579	0,0534	0,0496	0,0463	0,0396	0,0347	500

— 215 —

Fortsetzung der Tabelle über Kanalquerschnitte in m² für Luftmengen.

m ³	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
520	0,4814	0,3610	0,2908	0,2406	0,2065	0,1802	0,1604	0,1444	0,1312	0,1204
540	0,4998	0,3748	0,2998	0,2498	0,2150	0,1874	0,1664	0,1500	0,1362	0,1250
560	0,5184	0,3888	0,3110	0,2592	0,2222	0,1944	0,1728	0,1556	0,1412	0,1296
580	0,5370	0,4028	0,3220	0,2684	0,2302	0,2014	0,1790	0,1610	0,1464	0,1342
600	0,5556	0,4167	0,3333	0,2778	0,2381	0,2083	0,1852	0,1666	0,1515	0,1389
620	0,5740	0,4306	0,3444	0,2870	0,2460	0,2154	0,1914	0,1721	0,1566	0,1434
640	0,5924	0,4444	0,3556	0,2964	0,2540	0,2222	0,1976	0,1776	0,1616	0,1480
660	0,6108	0,4582	0,3668	0,3054	0,2618	0,2291	0,2036	0,1834	0,1666	0,1527
680	0,6292	0,4720	0,3778	0,3146	0,2696	0,2361	0,2098	0,1887	0,1716	0,1558
700	0,6481	0,4862	0,3889	0,3249	0,2778	0,2430	0,2160	0,1944	0,1767	0,1620
720	0,6666	0,5008	0,4000	0,3332	0,2856	0,2500	0,2222	0,2000	0,1816	0,1664
740	0,6852	0,5140	0,4101	0,3424	0,2936	0,2580	0,2284	0,2056	0,1866	0,1710
760	0,7036	0,5280	0,4220	0,3576	0,3016	0,2660	0,2344	0,2112	0,1916	0,1756
780	0,7222	0,5418	0,4332	0,3610	0,3094	0,2718	0,2406	0,2166	0,1968	0,1804
800	0,7407	0,5556	0,4444	0,3703	0,3174	0,2778	0,2469	0,2222	0,2020	0,1852
820	0,7594	0,5686	0,4554	0,3796	0,3252	0,2826	0,2527	0,2276	0,2076	0,1896
840	0,7780	0,5816	0,4664	0,3888	0,3332	0,2916	0,2588	0,2332	0,2122	0,1940
860	0,7966	0,5944	0,4776	0,3980	0,3410	0,2986	0,2650	0,2398	0,2172	0,1986
880	0,8152	0,6072	0,4888	0,4072	0,3488	0,3056	0,2712	0,2464	0,2222	0,2032
900	0,8333	0,6251	0,5000	0,4166	0,3571	0,3125	0,2778	0,2500	0,2272	0,2083
920	0,8520	0,6368	0,5112	0,4256	0,3648	0,3192	0,2836	0,2552	0,2322	0,2128
940	0,8704	0,6516	0,5220	0,4350	0,3728	0,3260	0,2920	0,2608	0,2372	0,2176
960	0,8888	0,6666	0,5331	0,4444	0,3808	0,3333	0,2984	0,2667	0,2424	0,2222
980	0,7074	0,6804	0,5444	0,4537	0,3888	0,3402	0,3056	0,2722	0,2474	0,2268
1000	0,9259	0,6945	0,5556	0,4629	0,3968	0,3472	0,3086	0,2778	0,2525	0,2314

1050	0,9725	0,7276	0,5836	0,4860	0,4165	0,3645	0,3235	0,2915	0,2615	0,2425
1100	1,0190	0,7590	0,6110	0,5090	0,4360	0,3820	0,3390	0,3050	0,2778	0,2545
1150	1,0651	0,7960	0,6385	0,5320	0,4560	0,3990	0,3545	0,3190	0,2900	0,2660
1200	1,1111	0,8334	0,6666	0,5555	0,4762	0,4166	0,3704	0,3333	0,3030	0,2778
1250	1,1574	0,8682	0,6944	0,5787	0,4960	0,4340	0,3858	0,3472	0,3157	0,2983
1300	1,2036	0,9024	0,7242	0,6013	0,5161	0,4514	0,4008	0,3611	0,3282	0,3011
1350	1,2499	0,9371	0,7512	0,6245	0,5360	0,4688	0,4165	0,3750	0,3408	0,3127
1400	1,2962	0,9724	0,7777	0,6480	0,5555	0,4862	0,4320	0,3889	0,3534	0,3240
1450	1,3426	1,0071	0,8055	0,6712	0,5754	0,5034	0,4475	0,4028	0,3662	0,3355
1500	1,3889	1,0418	0,8333	0,6944	0,5952	0,5208	0,4629	0,4167	0,3788	0,3471
1550	1,4352	1,0765	0,8611	0,7176	0,6150	0,5383	0,4783	0,4306	0,3914	0,3588
1600	1,4814	1,1111	0,8888	0,7407	0,6348	0,5556	0,4938	0,4444	0,4040	0,3703
1650	1,5277	1,1458	0,9166	0,7638	0,6546	0,5729	0,5092	0,4583	0,4166	0,3819
1700	1,5736	1,1804	0,9446	0,7872	0,6746	0,5902	0,5243	0,4722	0,4292	0,3931
1750	1,6204	1,2154	0,9722	0,8102	0,6944	0,6076	0,5401	0,4861	0,4419	0,4051
1800	1,6666	1,2502	1,0000	0,8333	0,7142	0,6251	0,5556	0,5000	0,4544	0,4166
1850	1,7129	1,2849	1,0278	0,8564	0,7340	0,6425	0,5710	0,5139	0,4670	0,4282
1900	1,7590	1,3200	1,0550	0,8790	0,7540	0,6650	0,5860	0,5280	0,4790	0,4390
1950	1,8053	1,3547	1,0828	0,9027	0,7738	0,6824	0,6014	0,5414	0,4916	0,4514
2000	1,8518	1,3890	1,1111	0,9259	0,7936	0,6945	0,6172	0,5555	0,5050	0,4629
2500	2,3148	1,7363	1,3889	1,1573	0,9920	0,8680	0,7715	0,6944	0,6313	0,5785
3000	2,7778	2,0835	1,6667	1,3887	1,1904	1,0416	0,9259	0,8333	0,7575	0,6942
3500	3,2407	2,4307	1,9444	1,6202	1,3889	1,2152	1,0801	0,9722	0,8838	0,8101
4000	3,7036	2,7780	2,2222	1,8517	1,5872	1,3888	1,2344	1,1111	1,0100	0,9259
4500	4,1665	3,1252	2,5000	2,0831	1,7856	1,5625	1,3889	1,2500	1,1358	1,0415

Fortsetzung der Tabelle über Kanalquerschnitte in m² für Luftmengen.

1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5	4,0	m ³
0,1032	0,0902	0,0802	0,0724	0,0656	0,0602	0,0560	0,0520	0,0480	0,0414	0,0364	520
0,1070	0,0936	0,0832	0,0750	0,0682	0,0624	0,0576	0,0536	0,0498	0,0428	0,0376	540
0,1112	0,0972	0,0864	0,0766	0,0706	0,0648	0,0596	0,0556	0,0518	0,0444	0,0389	560
0,1150	0,1006	0,0894	0,0804	0,0730	0,0672	0,0618	0,0576	0,0536	0,0460	0,0402	580
0,1190	0,1042	0,0926	0,0833	0,0757	0,0694	0,0640	0,0595	0,0556	0,0475	0,0417	600
0,1228	0,1076	0,0956	0,0860	0,0782	0,0718	0,0662	0,0616	0,0574	0,0492	0,0430	620
0,1270	0,1111	0,0988	0,0888	0,0808	0,0741	0,0683	0,0635	0,0593	0,0508	0,0444	640
0,1308	0,1146	0,1018	0,0916	0,0833	0,0764	0,0704	0,0655	0,0611	0,0526	0,0458	660
0,1348	0,1180	0,1050	0,0944	0,0858	0,0787	0,0724	0,0674	0,0629	0,0539	0,0472	680
0,1389	0,1215	0,1080	0,0972	0,0883	0,0809	0,0747	0,0694	0,0648	0,0554	0,0486	700
0,1428	0,1250	0,1112	0,1000	0,0908	0,0834	0,0768	0,0714	0,0666	0,0572	0,0500	720
0,1466	0,1284	0,1142	0,1028	0,0934	0,0858	0,0790	0,0734	0,0684	0,0588	0,0514	740
0,1504	0,1320	0,1172	0,1056	0,0960	0,0882	0,0814	0,0754	0,0704	0,0602	0,0528	760
0,1546	0,1350	0,1202	0,1084	0,0984	0,0904	0,0832	0,0774	0,0732	0,0616	0,0542	780
0,1587	0,1389	0,1234	0,1111	0,1009	0,0826	0,0854	0,0794	0,0741	0,0634	0,0556	800
0,1626	0,1424	0,1262	0,1142	0,1034	0,0950	0,0876	0,0814	0,0760	0,0650	0,0568	820
0,1666	0,1460	0,1392	0,1172	0,1058	0,0976	0,0898	0,0834	0,0780	0,0664	0,0582	840
0,1704	0,1494	0,1324	0,1198	0,1084	0,0998	0,0922	0,0852	0,0798	0,0680	0,0596	860
0,1742	0,1528	0,1242	0,1232	0,1111	0,1024	0,0948	0,0874	0,0816	0,0696	0,0612	880
0,1786	0,1562	0,1389	0,1250	0,1136	0,1041	0,0962	0,0893	0,0833	0,0713	0,0625	900
0,1822	0,1596	0,1418	0,1284	0,1162	0,1066	0,0982	0,0914	0,0852	0,0724	0,0638	920
0,1864	0,1632	0,1456	0,1308	0,1184	0,1089	0,1002	0,0944	0,0870	0,0744	0,0652	940
0,1904	0,1667	0,1492	0,1333	0,1212	0,1111	0,1016	0,0952	0,0888	0,0762	0,0666	960
0,1944	0,1702	0,1528	0,1361	0,1237	0,1134	0,1040	0,0972	0,0906	0,0778	0,0680	980
0,1984	0,1736	0,1543	0,1388	0,1262	0,1157	0,1068	0,0992	0,0926	0,0792	0,0694	1000

0,2075	0,1825	0,1615	0,1465	0,1320	0,1220	0,1120	0,1040	0,0975	0,0830	0,0725	1050
0,2180	0,1910	0,1695	0,1525	0,1389	0,1273	0,1170	0,1090	0,1020	0,0870	0,0760	1100
0,2275	0,1995	0,1770	0,1605	0,1445	0,1330	0,1225	0,1140	0,1065	0,0910	0,0795	1150
0,2381	0,2083	0,1852	0,1667	0,1515	0,1338	0,1281	0,1190	0,1112	0,0950	0,0834	1200
0,2480	0,2170	0,1929	0,1736	0,1578	0,1447	0,1336	0,1240	0,1158	0,0990	0,0868	1250
0,2578	0,2253	0,2004	0,1808	0,1640	0,1504	0,1388	0,1289	0,1202	0,1029	0,0911	1300
0,2678	0,2340	0,2083	0,1877	0,1704	0,1563	0,1441	0,1339	0,1250	0,1068	0,0937	1350
0,2778	0,2430	0,2160	0,1944	0,1767	0,1620	0,1494	0,1389	0,1296	0,1108	0,0972	1400
0,2877	0,2517	0,2248	0,2013	0,1830	0,1679	0,1549	0,1438	0,1343	0,1148	0,1006	1450
0,2976	0,2604	0,2315	0,2082	0,1893	0,1736	0,1602	0,1488	0,1389	0,1188	0,1041	1500
0,3075	0,2692	0,2392	0,2153	0,1957	0,1794	0,1655	0,1539	0,1436	0,1228	0,1077	1550
0,3174	0,2778	0,2469	0,2222	0,2020	0,1852	0,1709	0,1588	0,1482	0,1268	0,1111	1600
0,3273	0,2865	0,2546	0,2292	0,2083	0,1909	0,1761	0,1637	0,1528	0,1308	0,1146	1650
0,3373	0,2953	0,2624	0,2358	0,2146	0,1966	0,1810	0,1689	0,1578	0,1349	0,1183	1700
0,3472	0,3038	0,2701	0,2430	0,2209	0,2025	0,1869	0,1736	0,1621	0,1386	0,1216	1750
0,3571	0,3125	0,2778	0,2500	0,2272	0,2082	0,1924	0,1786	0,1666	0,1426	0,1250	1800
0,3670	0,3213	0,2855	0,2569	0,2335	0,2141	0,1977	0,1835	0,1713	0,1466	0,1285	1850
0,3769	0,3300	0,2930	0,2649	0,2400	0,2200	0,2030	0,1880	0,1760	0,1500	0,1320	1900
0,3869	0,3387	0,3007	0,2707	0,2458	0,2257	0,2083	0,1930	0,1805	0,1540	0,1355	1950
0,3968	0,3472	0,3086	0,2778	0,2524	0,2314	0,2136	0,1984	0,1852	0,1584	0,1389	2000
0,4960	0,4340	0,3858	0,3472	0,3156	0,2893	0,2671	0,2480	0,2315	0,1980	0,1736	2500
0,5952	0,5208	0,4629	0,4164	0,3786	0,3471	0,3205	0,2976	0,2778	0,2376	0,2083	3000
0,6944	0,6076	0,5401	0,4859	0,4418	0,4050	0,3739	0,3472	0,3241	0,2772	0,2431	3500
0,7936	0,6945	0,6172	0,5555	0,5048	0,4629	0,4273	0,3968	0,3704	0,3168	0,2778	4000
0,8928	0,7813	0,6944	0,6250	0,5679	0,5207	0,4807	0,4464	0,4166	0,3564	0,3125	4500

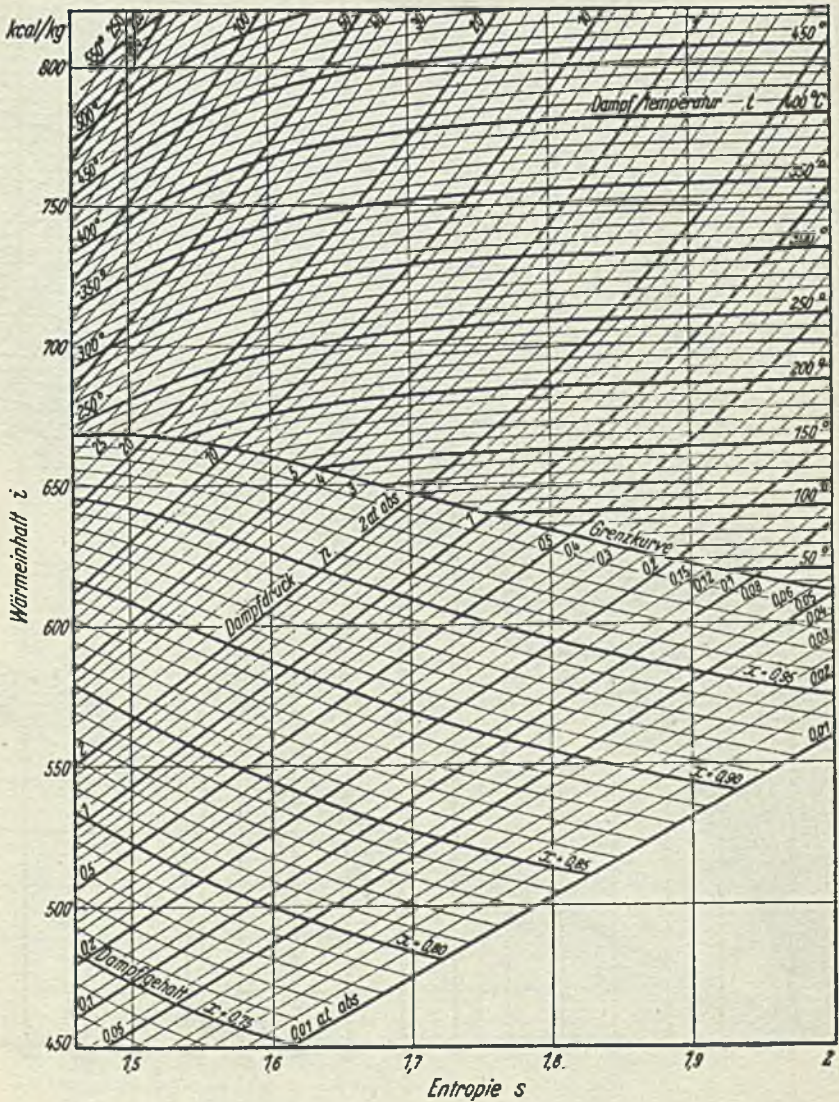
Fortsetzung der Tabelle über Kanalquerschnitte in m² für Luftmengen.

m ³	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
5000	4,6295	3,4725	2,7778	2,3145	1,9840	1,7360	1,5430	1,3889	1,2626	1,1570
6000	5,5556	4,1670	3,3333	2,7778	2,3808	2,0832	1,8517	1,6666	1,5150	1,3585
7000	6,4813	4,8615	3,8889	3,2404	2,7776	2,4304	2,1603	1,9444	1,7675	1,6201
8000	7,4072	5,5560	4,4444	3,7034	3,1744	2,7778	2,4688	2,2222	2,2450	1,8517
9000	8,3331	6,2505	5,0000	4,1662	3,5712	3,1250	2,7744	2,5000	2,2716	2,0829
10000	9,2590	6,9450	5,5555	4,6290	3,9690	3,4729	3,0860	2,7778	2,5253	2,3140
20000	18,5180	13,8900	11,1111	9,2592	7,9360	6,9450	6,1720	5,5555	5,0505	4,6299
50000	46,2950	34,7250	27,7778	23,1450	19,8400	17,3600	15,4000	13,8889	12,6260	11,5700

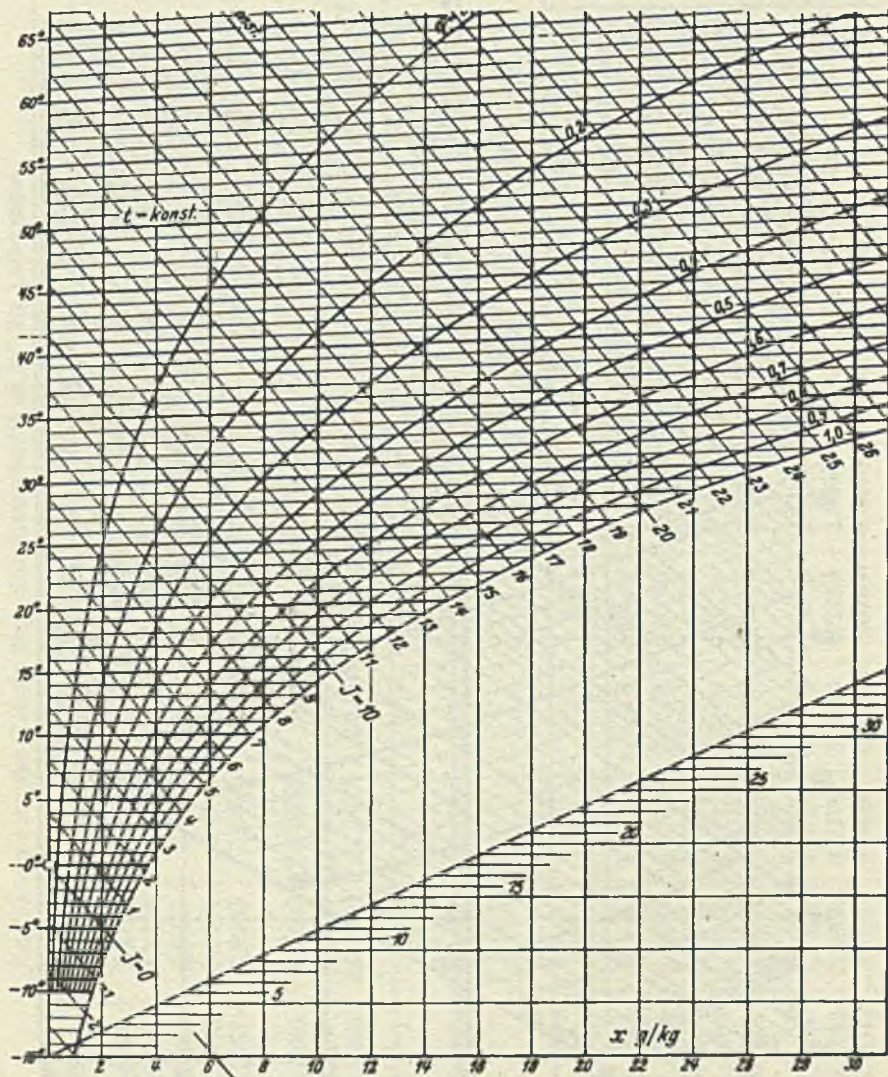
Fortsetzung der Tabelle über Kanalquerschnitte in m² für Luftmengen.

1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5	4,0	m ³
0,9920	0,8680	0,7715	0,6944	0,6313	0,5785	0,5342	0,4960	0,4630	0,3960	0,3472	5000
1,1904	1,0116	0,9259	0,8333	0,7575	0,6944	0,6409	0,5952	0,5555	0,4752	0,4166	6000
1,3888	1,2152	1,0801	0,9719	0,8835	0,8099	0,7478	0,6944	0,6481	0,5544	0,4861	7000
1,5872	1,3889	1,2344	1,1111	1,0096	0,9258	0,8546	0,7936	0,7407	0,6336	0,5555	8000
1,7856	1,5625	1,3889	1,2500	1,1358	1,0414	0,9615	0,8928	0,8393	0,7128	0,6250	9000
1,9840	1,7360	1,5430	1,3889	1,5620	1,1570	1,0683	0,9920	0,9259	0,7920	0,6944	10000
3,9680	3,4720	3,0860	2,7778	2,5240	2,3240	2,1366	1,9840	1,8518	1,5840	1,3888	20000
4,9200	8,6800	7,7150	6,9444	6,3130	5,7850	5,3420	4,9600	4,6300	3,9600	3,4720	50000

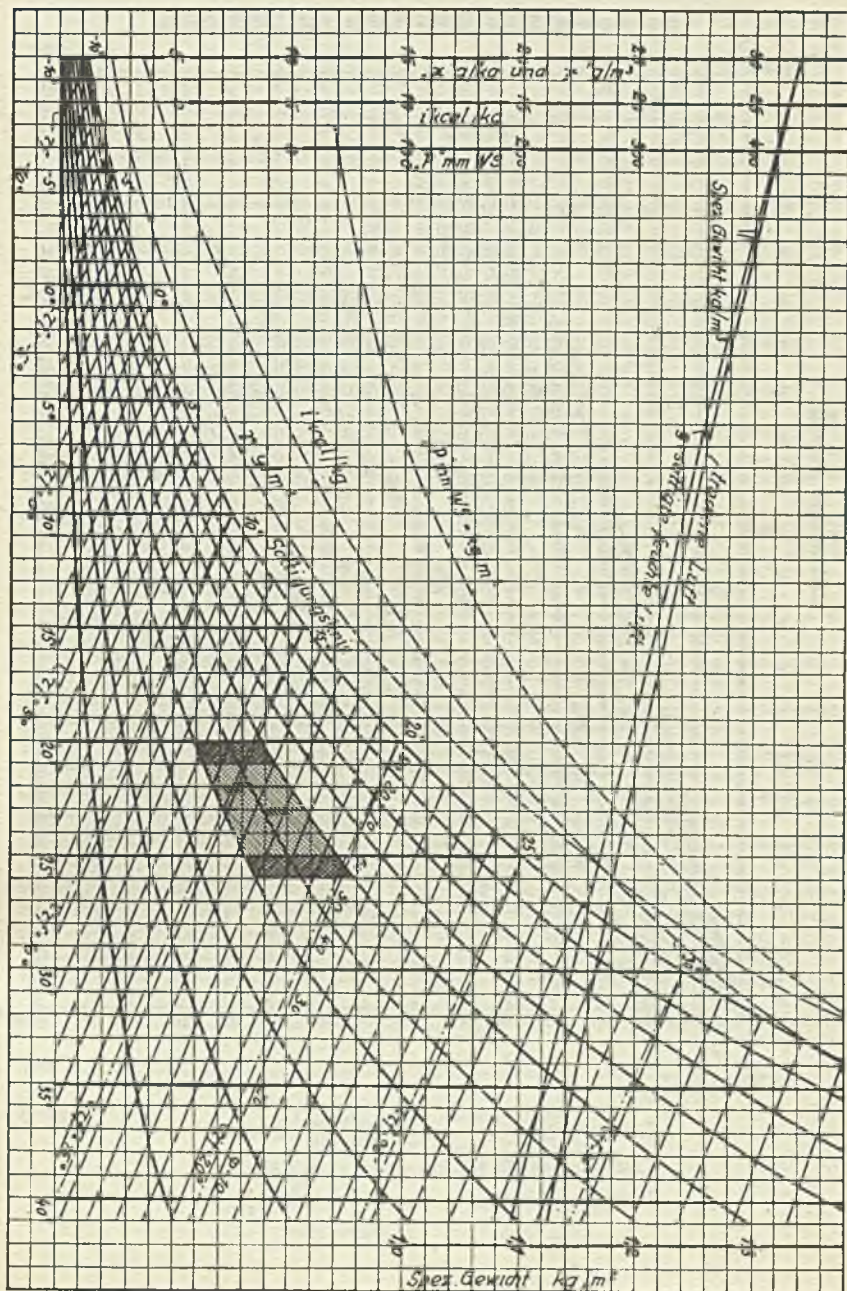
Kurvenbild 1.
Mollier $i-s$ Diagramm.



Kurvenbild 2.
Mollier $i-x$ Diagramm.

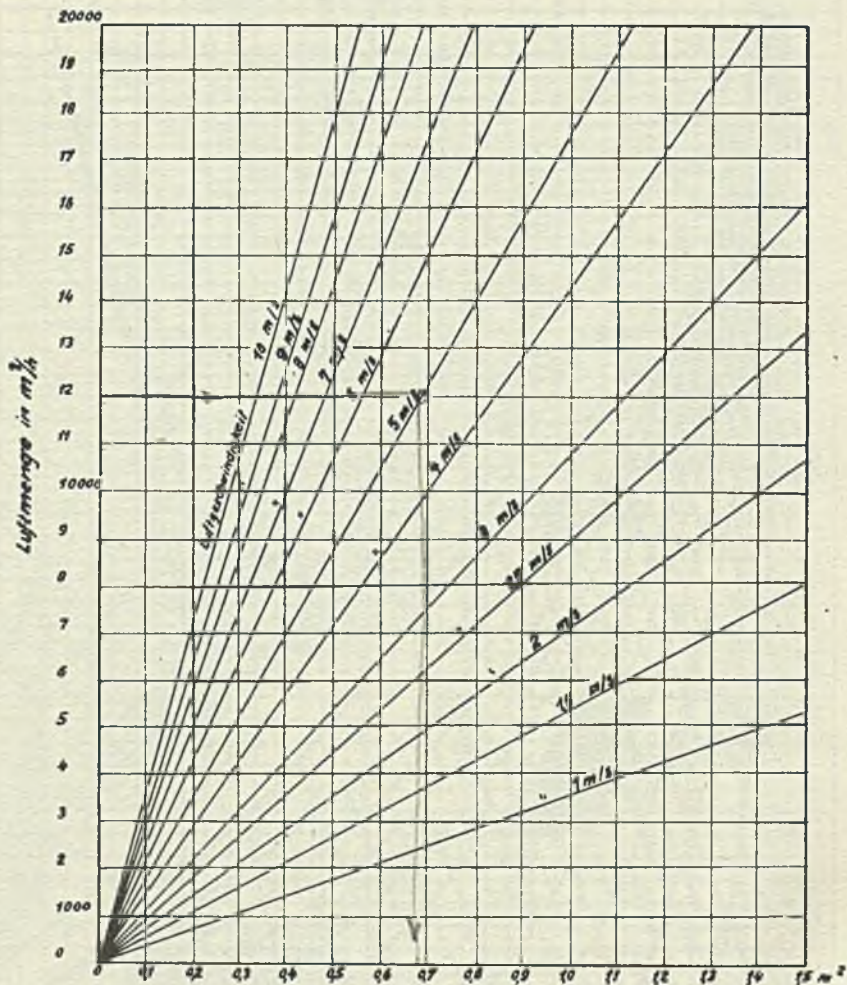


Kurvenbild 3. $t-\alpha$ Diagramm.



Kurvenbild 4.

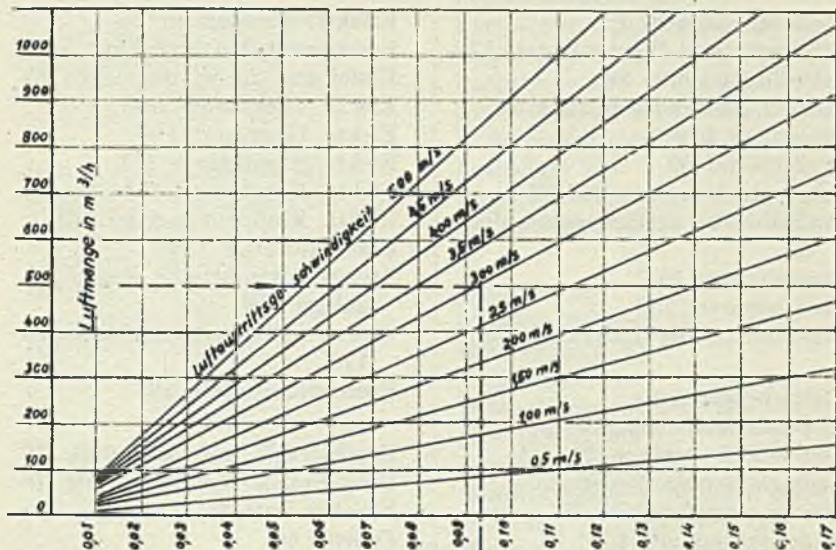
Bestimmungen der Querschnitte von Luftkanälen.



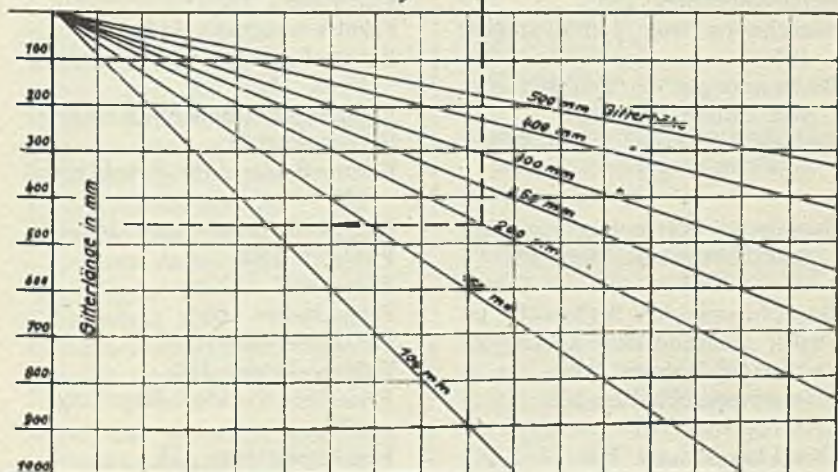
Beispiel:

Luftmenge = 12 000 cbm/h,
 Luftgeschwindigkeit = 5 m/sec,
 Kanalquerschnitt = 0,68 qm.

Kurvenbild 5. Bestimmungen der Querschnitte von Gitter.



Querschnitt in qm bei 50% freiem Querschnitt des Gitters.



Beispiel: Luftmenge = $500 m^3/h$,
Luftgeschw. = $3 m/sec$,
Querschnitt = $0,093 qm$,
Gitterhöhe = $200 mm$,
Gitterlänge = $460 mm$.

Sachverzeichnis.

- Außentemperatur 13
 Abmannsches Psychrometer 17
 Abkühlungsgröße 26
 Allgem. Zustandsgleichung 40
 Avogadro 44
 Außenwand 59
 Absorptionsverhältnisse 62
 Auffallwinkel der Sonnenstrahlen 68
 Anemometer 151
 Ampèremeter 153
 Ausführung der Luftkanäle 191

Betriebskosten 8
 Behaglichkeitsmaßstäbe 24
 Behaglichkeitszonen 29—33
 Behaglichkeitsanforderungen 77
 Berechnungsformular 76
 Befeuchtung von Luft 81
 Befeuchtungsanlage 110
 Betriebsleuchten 153
 Berechnung von Luftleitungen 181
 Bestimmungen der Querschnitte von Luftkanälen 224
 Bestimmungen der Querschnitte von Gitter 225

Chemische Wärmeregulung des menschlichen Körpers 22

 Dampfdruck der Außenluft 19
 Druck (Zustand eines Gases) 39
 Drehstrom-Motoren 93
 Düsenwasserbehälter 106
 Düsensystem 111
 Druckknopftaster 153
 Druckluft-Regelanlage 167

Einleitung 7
 Einleitung zu hygienischen Grundlagen der Klimatechnik 21

 Effektiv-Temperatur 28
 Erwärmung feuchter Luft 53
 Einleitung zu Klimaanlageanlagen 83
 Elektr. Thermostat 159
 Elektr. Hygrostat 159
 Elektr. Regelanlage 161
 Elektr. Motorventil 163
 Elektr. Klappenversteller 163
 Endausschalter 163
 Elektro-hydrantische Regelanlage 168
 Elektr. Sicherheitsvorrichtungen 170
 Einzelwiderstände 187

 Feuchtigkeit der Außenluft 16
 Feuchtigkeit der Außenluft 18
 Feuchte Luft 48
 Fenster 66
 Filterzellen 103
 Fragebogen 139
 Fernthermograph 144
 Fernmeßanlagen für Temperaturen 145
 Feuchtigkeitsmeßgeräte 147
 Ferngeber 149
 Fernmeßanlage für Feuchtigkeit 150
 Flügelrad-Anemometer 151
 Fühlrohr 157
 Fühlschaft 157
 Fernschalter 164
 Fernregler 166
 Fallbügelregler 166
 Frischluft-Rückluft-Regelung 173
 Feuchterege lung 175
 Fachliteratur 200

Gesetz von Boyle-Mariotte 39
 Gesetz von Gay-Lussac 40
 Gay-Lussac 41
 Gaskonstante R 41

- Gasmischungen 46
 Geschichtliches 82
 Gleichstrom-Motoren 94
 Geräuschdämpfung 198
 Gewicht trockener Luft 203
 Gitterabmessungen 225

Höchstaubtemperatur 12
 Hygienische Grundlagen der
 Klimatechnik 21
 Haupttemperatur 24
 Heizlastberechnung 57
 Heizschlange 106
 Haarhygrometer 147
 Hygroph 149
 Hygrostat 159

 Intensität der Sonne 60; 61; 62

Katathermometer 25
 Katawert 26
 Kühlstärke 26
 Katawert feucht 27
 Katawert trocken 27
 Kühllastberechnung 58
 Klimaanlage 82
 Kurzschlußanker-Motoren 93
 Kühlwasserbedarf 110
 Klima-Geräte 118
 Klein-Klimaanlage 132
 Kältemaschine 133
 Klappenversteller 163
 Kontaktpaar 165
 Körperschall 198
 Kanalquerschnitte 212
 Kanalquerschnitte 224

 Lüfter mit direkt gekuppeltem
 Elektromotor 90
 Lüfter mit Keilriemenantrieb
 und Elektromotor 91
 Luftgeschwindigkeiten 93
 Luftfilter 97
 Labyrinthfilter 102
 Luftvorerwärmer 104

 Luftkühler 107
 Luftnachwärmer 113
 Luftverteilungsleitungen 181
 Leistungsgleichung 182
 Luftkanäle 191
 Luftverteilungsanlage 195
 Lichtspieltheater 196
 Luftsfall 198
 Lautstärke 198
 Lärmgrenzen 199

Mariotte 40
 Molekulargewicht 44
 Mol-Volumen 44
 Meßgeräte 141
 Meßstellenumschalter 146
 Motorventil 163
 Membranventil 168
 Membranklappenversteller 168
 Molliers t - s Diagramm 221
 Molliers i - x Diagramm 222

 Normalfilter 100
 Naßkühlung 108
 Nachwärmung 179

 Physikalische Wärmeregulation des
 menschlichen Körpers 23
 Psychrometertafel 30
 Pécelet 57
 Proportionalitäts-Gesetze 95
 Pneumatische Regelanlage 168

Raumgewicht 39
 Regel von Avogadro 49
 Regelgenauigkeit 84
 Ringgutfilter 101
 Rückluft 115
 Rückluftkammer 116
 Rückseite einer Schalttafel 156
 Regler und Regelung in Klima-
 anlagen 157
 Rückluftbeimischung 179
 Rohrreibungswiderstände 188

Sonnenstrahlung und Außenlufttemperatur 10
 Solarkonstante 12
 Schweißdrüsen 23
 Schweißsekretion 23
 Stirntemperatur 25
 Sättigungslinie 30
 Spez. Wärme der Gase 51
 Sonnenstrahlung 60—62
 Strahlungsleistung 68
 Sommerbetrieb 69
 Sicherheitszuschlag 77
 Schwingungsdämpfer 92
 Schleifringanker-Motoren 94
 Schrank-Klimagerät 136
 Stengelthermograph 143
 Schalttafel 153
 Schaltschema für elektr. Regelung 165
 Sommerbetrieb 177
 Schalldruck 198
 Spez. Gewicht des Dampfes 201
 Spez. Volumen des gesättigten Dampfes 201

Tiefsttemperaturen 15
 Temperatur (Zustand eines Gases) 39
t-x Diagramm 54—55
 Taupunktbestimmung 78
 Taupunktregelung 79
 Trocknen von Luft 81
 Trockenluftkühler 107
 Tropfenfänger 113
 Temperatur-Meßgeräte 141
 Thermograph 142
 Temperaturschreiber 146
 Thermohygraph 152
 Thermostat 159
 Temperatur-Regelung 173
 Tonstärke 198
 Taupunkte 209
t-s Diagramm 221
i-x Diagramm 222
t-x Diagramm 223

Umlauffilter 103
 Umluft 115
 Umluftkammer 116
 Umluftansaugung 116
 Überwachungs-Schalttafel 153
 Unterbrecher 164
 Umwälzlüftung 192

Vollautomatische Klimaanlage 88
 Verdunstungskühlung 108
 Voltmeter 153
 Verblockungsröhre 164
 Verdampfungswärme 201

Der Wind und seine Geschwindigkeit 19
 Wirksame Temperatur 28
 Wärmeabgabe des menschlichen Körpers 35
 Wärmehaushalt des menschlichen Körpers 35
 Wasserdampfabgabe des menschlichen Körpers 35
 Wasserverdunstung 52
 Wärmedurchgangszahl 58
 Winterbetrieb 72
 Wassererzstäubungsdüsen 112
 Widerstandsthermometer 146
 Wandhygrometer 148
 Windfahnenrelais 170
 Winterbetrieb 172
 Widerstandsgleichung 182
 Widerstände 184
 Widerstandszahlen 185
 Wasserdampftabelle 201
 Werte für $1 + \alpha t$ 203
 Werte für $\frac{1}{1 + \alpha t}$ 203
 Wärmehalt feuchter Luft 206
 Wassergehalt feuchter Luft 206

Zweifarbenschreiber 146
 Zonen-Temperatur-Regelung 174
 Zulässige Lärmgrenzen 199



