

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 8

Artikel: Moderne lufttechnische Anlagen und ihre Anwendungen im neuen Corso
Autor: Bechtler, H.C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83266>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

60 Schlitten, die je einem Regelkreis entsprechen, ist die Belastung so verteilt, dass beide Phasen ungefähr gleichmässig belastet werden. Die Regeltransformatoren ermöglichen eine fast verlustlose Regelung, da keine Leistung vernichtet wird, wie es bei Widerstandsregelung der Fall ist. Die Schlitten der Transformatoren sind durch mechanischen Seilzug mit dem Stellwerk auf dem Beleuchter-Podium (14) verbunden. Das Stellwerk besitzt vier Reihen Hebel für je eine Farbe, die unter sich gekuppelt werden können, pro Farbe 20 Hebel. Ausgenützt sind 60, wobei für die Saalbeleuchtung acht Hebel inbegriffen sind.

Das Beleuchterpodium ist in einer Höhe von 2,5 m auf der linken Bühnenseite montiert. Der Beleuchter kann die Bühne übersehen und er kann auch die Beleuchterbrücke über dem Portal auf dem kürzesten Weg erreichen. Gegenüber dem Stellwerk an der Wand sind die Hauptschalter für die Transformatoren, die Sicherungen und Gruppenschalter für die Saal- und Allgemeinbeleuchtung und die Druckknopftafel für die magnetischen Farbwechsel der Schlitz- und Logoscheinwerfer untergebracht.

Die Gesamtinstallation nahm 20 Wochen in Anspruch.

DIE SAAL-BELEUCHTUNG

Ist zwischen der Wand und der schwebenden Decke als direkte Beleuchtung mit Silberspiegelreflektoren eingebaut. Auf einer Länge von 2×27 m sind 154 Reflektoren mit Glühlampen zu 100 W eingebaut. Der Beleuchtungskanal ist mit Mattglas abgedeckt und mit Schutzgittern versehen, die Leuchten sind von oben zu gänglich. Die Voute für indirekte Beleuchtung über der Bühne hat 56 Glühlampen zu 40 W. Ferner erhielt der Balkon eine zusätzliche Beleuchtung durch seitliche Vouten für direkte Beleuchtung in der Länge von 2×5 m mit 32 Glühlampen zu 60 W. Die Gesamtbelastung der Saalbeleuchtung, soweit sie regulierbar ist, beläuft sich auf 30 kW. Die

erreichte mittlere Beleuchtungsstärke ist 32 Lux, die Ausleuchtung ist sehr gleichmässig.

In die schwebende Decke sind ferner sechs Spiegelscheinwerfer mit Glühlampen von 1500 W eingebaut. Sie sind über der Decke mittels Kardangelenken in jeder Stellung feststellbar und können wie die Bühnenscheinwerfer mit Farbfiltern versehen werden; sie dienen zur Ausleuchtung des Parketts, wenn es als Tanzparkett verwendet wird. Mit diesen Scheinwerfern lassen sich mannigfaltige Effekte erzielen. Zusätzlich zur Saalbeleuchtung verwendet, erhöhen sie mit weissen Streuscheiben die Beleuchtungsstärke im Saal auf 60 Lux.

DANCING UND VESTIBULE.

Das Dancing weist eine originelle Beleuchtung mit Ständerlampen auf, die in ähnlicher Form bisher noch nicht geschaffen wurden, ebenso sind die zusätzliche Barbeleuchtung und die Tanzflächenbeleuchtung mit Scheinwerfern (am Rand der gekrümmten Decke, siehe Abb. 19, S. 83) dem in seiner ganzen Aufmachung interessanten und anziehenden Raum angepasst. Das Vestibule ist in der Tiefe der Kassenhalle am oberen Teil der Wände mit Spiegeln verkleidet. Die verstreut eingesetzten Lampen auf dunkelblauem Grund erwecken in ihrer vielfachen Spiegelung den Eindruck eines lichterfüllten, vergrösserten offenen Raumes.

Die Lösung der gesamten beleuchtungstechnischen Fragen lässt eine erfolgreiche Zusammenarbeit der Architekten mit der Lieferfirma erkennen. Es darf in diesem Zusammenhang wohl erwähnt werden, dass dies speziell für einen Theaterbau von ausserordentlicher Bedeutung ist und besonders dann zugunsten der Bauherrschaft ganz wesentliche Einsparungen möglich macht, wenn beim Entwurf die Spezialfirmen von Anfang an zur Mitarbeit zugezogen werden.

Moderne lufttechnische Anlagen und ihre Anwendungen im neuen Corso.

Von Dipl. Ing. H. C. BECHTLER, Zürich.

Einleitung. Die gute Schweizerluft ist sprichwörtlich, die schlechte Luft sehr vieler schweizerischer öffentlicher Lokale ebenso sprichwörtlich — für alle, die im Ausland an höhere Ansprüche gewöhnt worden sind. Aber in letzter Zeit ist doch ein deutlicher Zug zum Besseren zu beobachten; Sport und gesündere Lebensweise haben nun auch unser Publikum so weit erzogen, dass es notorisch schlecht gelüftete Lokale je länger desto mehr meidet, und rauchgeschwängerte, stinkige Luft ist nicht mehr die obligate Atmosphäre zur Entwicklung unserer berühmten Gemütlichkeit. Das Publikum der Zukunft wird zweifellos noch sehr gesteigerte Ansprüche an die atmosphärischen Zustände in öffentlichen Lokalen stellen.

Die Technik ist diesen Ansprüchen gefolgt oder sogar vorausgegangen und ist heute in der Lage, unabhängig von den atmosphärischen Aussenbedingungen und der Jahreszeit und unabhängig davon, ob ein Lokal voll besetzt ist oder nicht, die jeweils für das Wohlbefinden der Menschen günstigsten Luftverhältnisse zu schaffen. Solche *Luftkonditionierungs-Anlagen* müssen im wesentlichen folgende Bedingungen erfüllen:

1. Intensive Lüftung durch Lüftererneuerung,
2. Temperaturkontrolle (Heizung bzw. Kühlung),
3. Feuchtigkeitskontrolle (Entfeuchten bzw. Befeuchten),
4. Luftreinigung (Entstauben, waschen, desodorisieren),
5. Gleichmässige und zugfreie Luftverteilung.

Die *Technik der Luftkonditionierung* im heutigen Sinne ist zuerst in den U. S. A. entwickelt worden und hat dort, trotz Krise und schlechten Zeiten, eine ungeheure Entwicklung und eine hohe Stufe der Vollkommenheit gefunden. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn wir heute in Europa einen guten Teil dieser grossen Erfahrungen der Amerikaner benützen müssen, um Anlagen zu erstellen, die modernen Ansprüchen genügen. Viele sogenannte moderne Lüftungs-

anlagen haben den erwarteten Erfolg nicht gehabt; sie wurden nach der Erstellung nicht oder nur selten benützt. Die Gründe hierfür sind folgende:

1. Schlechte Bedienung der Anlagen, die, wenn sie nicht automatisch wirkend sind, durch Fachpersonal beinahe ständig nachreguliert werden müssen, um sich den stets schwankenden Erfordernissen anzupassen.
2. Mangelhafte Ausführung infolge zu kleiner Dimensionierung und infolge mangelnder Erfahrung, insbesondere in der zugfreien Luftverteilung im Raume.
3. Unverständnis der Benützer, die aus Betriebsersparnisgründen die Anlagen stilllegen.

Der erste der erwähnten drei Gründe ist der häufigste; die Amerikaner haben dies auch schon längst eingesehen. Darum werden dort die modernen Anlagen immer *automatisch* wirkend ausgeführt: sie werden dadurch in weitgehendem Masse vom Bedienungspersonal unabhängig gemacht, was für den Kenner der Verhältnisse als enormer Vorteil gewertet wird. Aber automatisch funktionierende Anlagen erfordern eine grosse Erfahrung in der Disposition und ganz einwandfrei wirkende Automatik. Die seit Jahren entwickelten und weiter unten beschriebenen automatischen Regelinstrumente sind sehr robust und betriebsicher, sodass von dieser Seite her keine Einwände gegen ihre allgemeine Verwendung mehr bestehen können. Dem dritten Grund — mangelhaftes Verständnis der Benützer — kann nur durch Erziehung des Publikums begegnet werden. In der Zukunft wird ein „konditioniertes“ Lokal eine ebensolche Selbstverständlichkeit werden, wie heute ein im Winter geheizter Raum.

Nach sorgfältigster Prüfung und Studienreisen im In- und Ausland stand für die Bauherrschaft und die Architekten des neuen „Corso“ eines fest: im neuen Theater musste eine den modernsten Ansprüchen genügende

Luftkonditionierungsanlage eingebaut werden, also: Luft-erneuerung, Luft-Heizung, -Kühlung, -Reinigung und automatische Temperatur- und Feuchtigkeitsregulierung. Lüftung ist notwendig in folgenden Räumen: Theater und Foyers, Restaurant, Dancing und Küchen. Die Ausführung der gesamten Anlagen wurde der Firma Bechtler, Weber & Co., Gesellschaft für Luft- und Wärmetechnik, Zürich übertragen, die Lizenzinhaberin der grössten und führenden amerikanischen Spezialfirma Carrier ist. Sie stellt diese Anlagen in der Schweiz mit Schweizermaterial nach Carrier-Lizenzen und Patenten her.

Nach den Vorschlägen von Bechtler, Weber & Co. wurde folgende zweckmässige Gruppierung vorgenommen:

1. Eine automatische Luftkonditionierungsanlage für das Theater mit Belüftung der Foyers.
2. Gemeinsame automatische Lüftungsanlage für Restaurant und Dancing, mit Luftheizung und Kühlung.
3. Eine separate Küchenventilationsanlage.

DIE THEATERANLAGE.

Für den Theaterraum wurde eine vollständige, automatisch kontrollierte Luftkonditionierungsanlage nach System Carrier erstellt. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus der Luftkonditionierungszentrale, dem Luftverteilungssystem und dem automatisch wirkenden Kontrollsystem.

Die Aussenluft wird durch einen Ventilator angesogen und passiert im Winter zuerst eine automatisch kontrollierte Vorheizbatterie. Darauf wird sie in einer Mischkammer mit aus dem Saal abgesogener Rückluft gemischt und nach Durchströmen von Luftgleichrichtern durch den Luftwascher gesogen. In diesem streicht die Luft durch einen intensiven Sprühregen von fein verteiltem Wasser und wird so vollständig gereinigt und bei einer bestimmten, automatisch konstant gehaltenen Temperatur mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit der Sättigung der Luft ist Kühlung und Entfeuchtung im Sommer und Erwärmung und Befeuchtung im Winter verbunden. Besondere Abscheider am Ende des Waschers verhindern ein Mitreissen von freiem Wasser. Die so vorbehandelte Luft mischt sich in einer zweiten Mischkammer mit im Winter erwärmter Umluft, die durch einen Oelfilter gereinigt, aber nicht durch den Wascher gesogen wurde. Der Ventilator drückt nun dieses Luftgemisch in das

Luftverteilungssystem. Charakteristisch für die Anordnung der Luftverteilung im „Corso“ ist die Ausführung nach dem von Carrier entwickelten, vielfach bewährten Ejektor-Düsen-Prinzip. Der Gebäude-Längsschnitt (Abb. 14) zeigt schematisch, wie die Luft nach diesem System oben hinten über die Galerie und über den letzten Estradesitzen durch herzförmige Düsen horizontal und mit relativ hoher Geschwindigkeit in den Saal eingeblasen wird. Hoch über den Köpfen der Zuschauer mischt sich die so eingeblasene Luft durch Ejektorwirkung mit der vorhandenen Raumluft. Dabei gibt sie entweder Wärme an die Raumluft ab (Heizen im Winter) oder sie nimmt Wärme aus ihr auf (Kühlen im Sommer). In beiden Fällen erreicht die Luft den Zuschauer bei der im Raum gewünschten Temperatur und Feuchtigkeit und sie bewegt sich im ganzen Saale von vorn nach hinten, also gegen das Gesicht. Unter den Sitzen der Zuschauer wird die Luft wieder abgesogen. Ein Teil wird ins Freie ausgestossen, der andere Teil als Rück- und Umluft in der oben beschriebenen Weise durch die Luftbehandlungsanlage gesogen, um, vermischt mit Frischluft, wieder verwendet zu werden.

Die automatische Kontrolle. Die Gründe für die Anwendung der automatischen Kontrolle sind die folgenden:

1. Weitgehende Sicherstellung der Anlage vor falscher Bedienung. Dadurch wird Ueberkühlung mit Zugerscheinungen oder Ueberhitzung des Raumes vermieden. Wie oben erwähnt, kann falsche Bedienung von an und für sich guten Lüftungsanlagen oft zu ganz unbefriedigenden Resultaten führen. Wechselndes Bedienungspersonal, Abwesenheit, Krankheit, dann die stets wechselnden Bedingungen im Raume selbst, stellen Erfordernisse an das

Bedienungspersonal, die in den allerwenigsten Fällen erfüllt werden können. Eine einwandfreie Automatik ist daher ein Haupterfordernis für den Erfolg grösserer Luftkonditionierungsanlagen.

2. Die Ersparnis an Betriebspersonal. Zur Aufsicht der automatisch wirkenden Luftkonditionierungsanlagen genügt ein unqualifizierter Angestellter, der im Gebäude noch andere Aufgaben zu erfüllen hat. Dieser Punkt dürfte im Budget manchen Betriebes ins Gewicht fallen.

3. Durch die stetige und gradierte Regulierung der Automatik können wesentliche Heizkostenersparnisse erzielt werden, so wie sie bei Handregulierung selbst mit dem besten Betriebspersonal niemals erreicht werden. Auf diesen Punkt werden wir weiter unten zurückkommen.

Diese oben erwähnten Gründe haben dazu geführt, dass grosse amerikanische Spezialfirmen grundsätzlich *nur* automatisch regulierte Anlagen ausführen.

Die automatische Kontrolle im „Corso“ wirkt, wie bei fast allen automatischen Carrier-Anlagen, auf pneumatischem Wege. Diese pneumatische Regulierung hat folgende Vorteile:

1. Sie ist äusserst robust und zugleich empfindlich. Zwanzigjährige Erfahrungen haben heute eine Apparatur entwickelt, die selbst unter den ungünstigsten Bedingungen in der Industrie ihre Probe seit Jahren in vielen tausenden von Anlagen bestanden hat.

2. Sie ermöglicht auf relativ einfachem Wege eine stetige Regulierung von Temperatur und Feuchtigkeit in beliebiger Abstufung. Luftklappen oder Ventile sind nicht entweder ganz offen oder ganz geschlossen, sondern werden, je nach den Bedingungen im Raume, in jeder beliebigen Zwischenstellung festgehalten. Nur durch eine solche weiche, nicht stossweise wirkende, automatische Regelung ist Konstanthaltung der gewünschten Bedingungen mit kleinen Toleranzen möglich. Die pneumatische Regulierung ist aber auch in dem Sinne *gradiert*, dass durch ein einziges Regelinstrument (Thermostat, Hygrostat und dgl.) verschiedene Schaltvorgänge nacheinander ausgelöst werden können. Die Regelung erfolgt zum Beispiel so, dass bei steigender Temperatur im Saale zuerst das Heizmedium (Dampf oder Wasser) abgestellt wird, und erst dann, wenn dies zur Konstanthaltung der Temperatur nicht mehr genügt, die Aussenluftklappen langsam weiter geöffnet werden. Die dadurch entstehenden Vorteile sind offensichtlich.

Im „Corso“ geschieht die pneumatische Regulierung auf folgende Weise: Mit einem kleinen Luftkompressor wird die als Servomotor dienende Druckluft erzeugt und ihr Druck durch einen automatischen Schalter konstant gehalten. Mit dieser Druckluft werden beliebig viele Ventile oder Luftklappen gesteuert. Abb. 36 zeigt z. B. ein solches pneumatisch gesteuertes Dampfventil. Je nach dem auf der Gummimembran lastenden Luftdruck ist das Ventil mehr oder weniger geöffnet. Ähnlich wie diese Ventile werden mittels eines Gestänges die Luftklappen bedient.

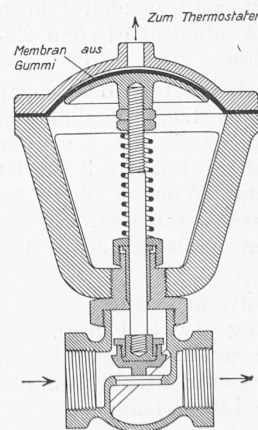


Abb. 36. Pneumatisch gesteuertes Dampfventil.

Abb. 37 zeigt einen Carrier-Thermostaten; dieses Instrument wird in die Druckluftleitung zwischen der Druckluftquelle und den zu betätigenden Organen (Ventilen, Luftklappen) eingeschaltet. Der Temperaturfühler öffnet oder schliesst ein Luftventil mehr oder weniger und reguliert so den auf den Membranen der Steuerorgane lastenden Luftdruck und damit ihre Stellung. An Stelle des Thermostaten kann ein Hygrostat ähnlicher Konstruktion treten.

Zur Regulierung der *Feuchtigkeit* wird oft statt dem Hygrostaten ein Thermostat verwendet, wobei durch

Taupunktkontrolle der absolute Feuchtigkeitsgehalt und indirekt die relative Feuchtigkeit reguliert wird.

Zum besseren Verständnis zeigt Abbildung 38 eine *Psychrometrische Tafel*, wie sie von Willis Carrier entwickelt wurde. Auf der Abszisse sind die Temperaturen des trok-

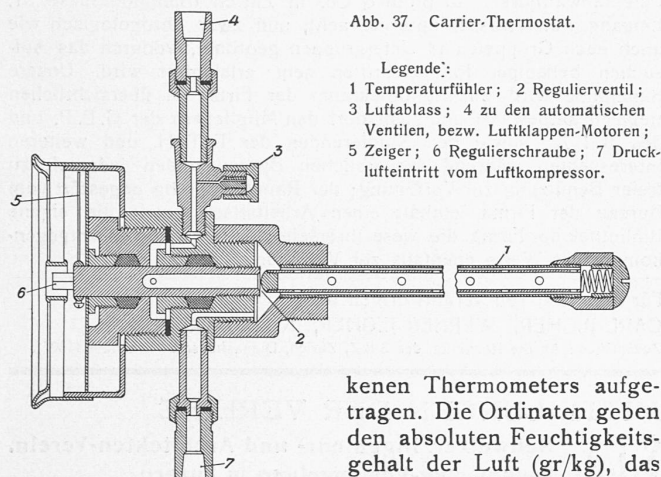


Abb. 37. Carrier-Thermostat.

Legende:

- 1 Temperaturfühler; 2 Regulierventil;
- 3 Luftablass; 4 zu den automatischen Ventilen, bezw. Luftklappen-Motoren;
- 5 Zeiger; 6 Regulierschraube; 7 Drucklufteintritt vom Luftkompressor.

kenen Thermometers aufgetragen. Die Ordinaten geben den absoluten Feuchtigkeitsgehalt der Luft (gr/kg), das spezifische Volumen (m^3/kg),

den Wärmeinhalt der gesättigten Luft (WE/kg), sowie den Dampfdruck des Wasserdampfes (kg/m^2). Es sind ferner angegeben die Kurven konstanter relativer Feuchtigkeit, die Kurven konstanter Wärmeinhalte (die für alle praktischen Anwendungen mit genügender Genauigkeit mit den Kurven konstanter Feucht-Temperatur zusammenfallen).

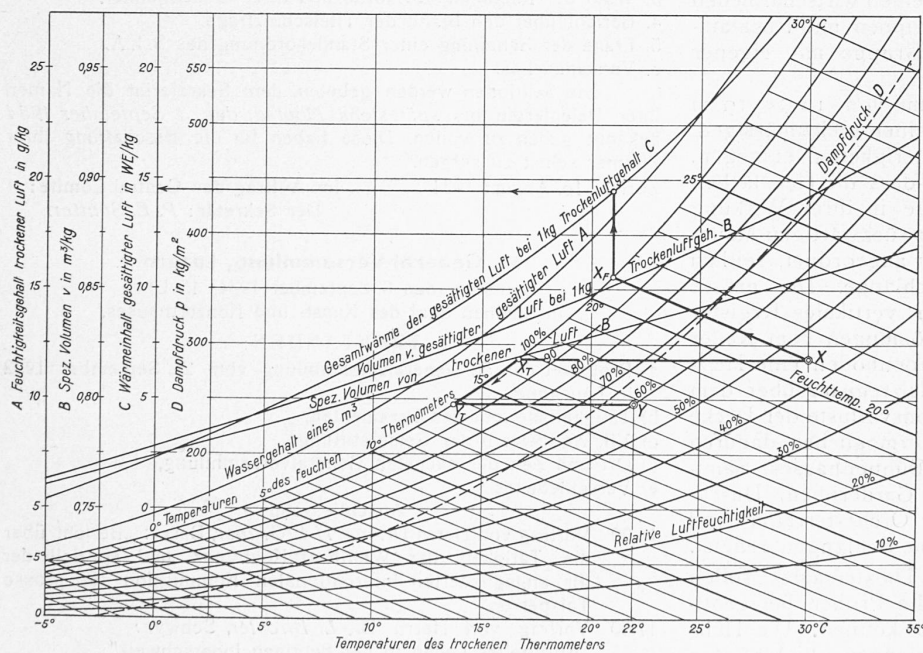


Abb. 38. Psychrometrische Tafel, System Carrier. Bezogen auf 760 mm Barometerstand.

In dieser Tafel lassen sich auf sehr einfache Weise alle Vorgänge verfolgen. Ein Beispiel: Greifen wir einen Luftzustand, wie er auf der Tafel durch den Punkt X charakterisiert sei, heraus. Für diesen Punkt beträgt die Temperatur des trockenen Thermometers (auf der Abszisse) $30^\circ C$. Die relative Feuchtigkeit findet man durch Interpolation als 45%, den absoluten Feuchtigkeitsgehalt auf der entsprechenden Ordinate als 11,8 gr/kg Luft, das spezifische Volumen $v = 0,818 m^3/kg$. Den Wärmeinhalt findet man, indem man zuerst den Schnittpunkt X_F der Linie konstanten Wärmeinhalts mit der Sättigungskurve aufsucht, die Senkrechte durch diesen Punkt legt und den Schnitt dieser Senkrechten mit Kurve C, Gesamtwärme der gesättigten Luft, bestimmt. Horizontal findet man auf der entsprechenden Ordinate den Wärmeinhalt zu 14,5 WE/kg.

Die Feuchttemperatur des Zustandes X ist ebenfalls auf dem Schnittpunkt X_F der Linie konstanter Feuchttemperatur mit der Sättigungskurve ablesbar und ist hier $21^\circ C$. Der Taupunkt X_T wird durch den Schnitt einer Horizontalen durch X mit der Sättigungslinie bestimmt und beträgt $16,6^\circ C$.

Soll nun in einem Saal im Sommer z. B. $22^\circ C$ Trockentemperatur bei 60% Feuchtigkeit gehalten werden, so entspricht dies dem in der Tafel eingetragenen Punkt Y; dabei möge im Freien ein Zustand herrschen, der durch den oben angeführten Punkt X charakterisiert ist. Um nun bei Verwendung von Aussenluft diese im Saale in den Zustand Y überzuführen, müssen wir sie zuerst bis zur Sättigung abkühlen, d. h. bis zum Taupunkt $X_T = 16,6^\circ C$, sodann, der Sättigungslinie folgend, unter Ausfällen von Wasser, bis zum Punkt $Y_T = 13,7^\circ C$, der dem Taupunkt des gewünschten Zustandes Y entspricht. Um zum Zustand Y zu gelangen, muss die Luft von $13,7^\circ C$ auf $22^\circ C$ erwärmt werden. Dies geschieht unter Ausnützung sämtlicher im Saal befindlichen Wärmequellen, wie Personen, Lampen, Einstrahlung von Aussen usw.

Die notwendige Luftmenge ist bestimmt durch die Gesamtheit der vorhandenen Wärmequellen. Sie muss gerade so gross gewählt werden, dass die erzeugte Wärme durch die Luft absorbiert wird, wobei sich ihr Zustand von Y_T ($13,7^\circ C$ gesättigt) zum Zustand Y ($22^\circ C$ und 60% relativer Feuchtigkeit) verändert; die Differenz der beiden Zuständen entsprechenden Wärmeinhalte lässt sich direkt auf der Tafel bestimmen. Der Quotient zwischen der gesamten abzuführenden Wärme und dieser Differenz bestimmt die Luftmenge (in kg). Zu dieser konditionierten Luftmenge wird nun unkonditionierte als Umluft beigemischt, sodass die total umgewälzte Luftmenge grösser ist.

Die Feuchtigkeit im Raum wird also durch *Konstanthaltung des Taupunktes* reguliert. Der Taupunkt-Thermostat wirkt auf die Kaltwasserzuführung und auf Heizkörper. Die Regulierung wird so eingestellt, dass die Verdampfungskälte des Wassers restlos ausgenutzt wird und frisches Kaltwasser automatisch nur dann zugesetzt wird, wenn die Verdampfungskälte nicht mehr ausreicht; die Zirkulation des Kühlwassers besorgt eine Pumpe.

Die Temperatur wird im Sommer automatisch durch Luftmengenregulierung (Mischung von konditionierter Aussen- und Umluft), in der kalten Jahreszeit durch Luftmengenregulierung und Heizbatterie-Regulierung konstant gehalten. Dabei wird, wie schon angedeutet, graduiert reguliert, sodass bei zu grosser Kälte im Saal zuerst die Frischluftklappe auf ein Minimum sich schliesst, bevor die Dampfventile Dampf einströmen lassen.

Für die Beheizung der Räume wird daher die von den Personen, Lampen usw. entwickelte Wärme immer voll ausgenutzt, und es ist unmöglich, durch falsches Manövrieren Wärme nutzlos nach aussen entweichen zu lassen.

Zur Kühlung und Entfeuchtung der Luft im „Corso“ konnte Leitungswasser verwendet werden, da dessen Temperatur 10° nicht überschreitet. Mit solchem Wasser lässt sich, je nach der verwendeten Wassermenge, ein Taupunkt von 12° bis 14° halten. Damit erreicht man im Saale auch bei hohen Aussentemperaturen und voller Besetzung komfortable Bedingungen.

In den meisten Grosstädten des Auslandes ist kaltes Wasser in genügender Menge nicht vorhanden, sodass solche Anlagen in vielen Fällen mit Kältemaschinen von beträchtlichen Leistungen betrieben werden müssen.