

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 86 (1968)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Die Klimasysteme im Bürogebäude  
**Autor:** Hochstrasser, Werner  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-70037>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

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

## Die Klimasysteme im Bürogebäude

DK 697.93

Von Werner Hochstrasser, dipl. Ing., Geroldswil (ZH)

### Grundsätzliches über die heute gebräuchlichen Systeme

Die Entwicklung neuzeitlicher Klimaanlage für Bürogebäude begann vor rund 30 Jahren mit der Erfindung der Induktionsanlage durch den Amerikaner Dr. Willis H. Carrier und mit der gleichzeitig erfolgten Installation der ersten Zweikanal-Klimaanlagen in Bürobauten durch den Amerikaschweizer Buensod. In der Schweiz fanden diese Entwicklungen erst in den frühen fünfziger Jahren Eingang [4]. Bis dahin waren Büroklimaanlagen ausschliesslich als Niederdruckanlagen konzipiert worden, wie man sich dies von Grossräumen wie beispielsweise Kinos gewöhnt war [7]. Das technische Problem ist aber in Bürogebäuden ein anderes: Statt wenige grosse Räume sind viele kleine mit unterschiedlichem Bedarfscharakter zu bedienen.

Die Niederdruckanlage weist einen sehr grossen Platzbedarf auf, da die ganze, in den Räumen benötigte Luftmenge diesen von einer zentralen Stelle aus zugeführt werden muss (Bild 1). Die grosse Zahl der zu bedienenden Räume, die zum Teil stark unterschiedliche Lasten aufweisen (zum Beispiel infolge verschiedener Fassadenorientierung oder Besetzungsdichte), machen unter Umständen eine Vielzahl von Nachheiz- und Nachkühlstationen für einzelne gleichartige Raumgruppen notwendig, wodurch der Platzbedarf nochmals grösser ausfällt.

Bei herkömmlicher Anordnung einer Klimaanlage ist für die Zu- bzw. die Abführung der in den Räumen benötigten bzw. anfallenden Wärme etwa viermal so viel Luft erforderlich als für die Erneuerung der Atmungsluft oder für das Einhalten der relativen Feuchtigkeit innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen benötigt wird. Man führt aber wegen den Kosten für Heizung und Kühlung nicht mehr Aussenluft in die Räume ein, als zur Einhaltung hygienisch genügender Luftverhältnisse gerade notwendig ist, da ja alle Aussenluft auf den Raumzustand aufgewärmt bzw. abgekühlt werden muss.

Dies bedingt, dass etwa drei Viertel der den Räumen zugeführten Luft zur Aufbereitung wieder in die Zentrale zurückgeführt werden muss, was eine weitere Vergrösserung des Platzbedarfes zur Folge hat. Dadurch war oft nur wegen der Klimaanlage eine grössere Stockwerkhöhe notwendig, was eine Verteuerung bedeutet, die heute niemand mehr auf sich zu nehmen bereit ist. Hinzu kommen noch feuerpolizeiliche Sicherheitsvorschriften, welche die Luftkanäle von grossem Querschnitt, die mehr als drei Stockwerke miteinander verbinden, beträchtlich verteuern. Schliesslich macht die Kaminwirkung bei Hochhäusern den Einbau von Niederdruckanlagen, die sich über mehrere Stockwerke erstrecken, auch aus rein strömungstechnischen Erwägungen problematisch.

Als Weiterentwicklung der Niederdruck-Anlage sind Systeme ausgeführt worden, bei denen nur der Aussenluftanteil, also etwa ein Viertel der insgesamt umgewälzten Luftmenge, zentral aufbereitet

wird. Diese Luft wird nach Unterzentralen – beispielsweise eine in jedem Stockwerk – weitergeleitet (Bild 2). Dadurch müssen die restlichen drei Viertel der Luft nur noch innerhalb eines Stockwerkes umgewälzt werden. Die Stockwerk-Unterzentrale beansprucht dabei annähernd soviel Raum, wie dank kleinerer Luftschächte gegenüber zentralen Niederdruckanlagen eingespart werden kann. Von der Zweikanal-Anlage soll später die Rede sein.

Beim Induktionssystem (Bild 3) wird ebenfalls nur der Aussenluftanteil in der Zentrale aufbereitet und direkt den einzelnen Räumen zugeführt. Der Luftdurchsatz in der Zentrale beträgt also ebenfalls nur etwa ein Viertel des in Niederdruckanlagen üblichen. Da aber die Niederdruckanlage gewissermassen eine Norm für den Leistungsbedarf gesetzt hatte, konnten beim Induktionssystem die Druckverluste ohne Überschreitung dieser Norm entsprechend höher angesetzt werden, was in den Kanälen zwei- bis viermal so hohe Geschwindigkeiten erlaubte, als sie im Niederdrucksystem gebräuchlich sind, und nochmals zu einer beträchtlichen Verringerung des Platzbedarfes führte. Die Kanalquerschnitte eines Hochdruckinduktionssystems betragen nur noch etwa 10% derjenigen eines gleichwertigen Niederdrucksystems, und auch die Luftzentrale braucht weniger als die Hälfte des Raumes, wie aus den Tabellen 1 und 2 ersichtlich ist. Die hohen Luftgeschwindigkeiten in den Kanälen und die dafür nötigen höheren Ventilator drücke führten zu den Bezeichnungen Hochdrucksystem oder auch Hochgeschwindigkeitssystem.

Tabelle 1. Kanalquerschnitte in % der Gebäude-Nutzfläche

|        | Niederdruck | Hochdruck<br>Induktion | Hochdruck<br>Zweikanal |
|--------|-------------|------------------------|------------------------|
| Zuluft | 0,13        | 0,013                  | 0,07                   |
| Abluft | 0,13        | 0,022                  | 0,13                   |

Tabelle 2. Grundfläche der Luftzentrale in % der Gebäude-Nutzfläche und erforderliche Raumhöhe in m

| Gebäude-Nutzfläche        | m <sup>2</sup> | 1000 | 3000 | 10 000 | 30 000 |
|---------------------------|----------------|------|------|--------|--------|
| Niederdruck Grundfläche % |                | 2,6  | 1,9  | 1,4    | 1,4    |
| Niederdruck Höhe m        |                | 2,6  | 2,8  | 4,0    | 4,0    |
| Hochdruck Grundfläche %   |                | 1,3  | 0,8  | 0,55   | 0,45   |
| Hochdruck Höhe m          |                | 2,4  | 2,6  | 3,0    | 4,0    |
| Hochdruck Grundfläche %   |                | 2,2  | 1,6  | 1,3    | 1,3    |
| Zweikanal Höhe m          |                | 2,8  | 2,8  | 4,0    | 4,0    |

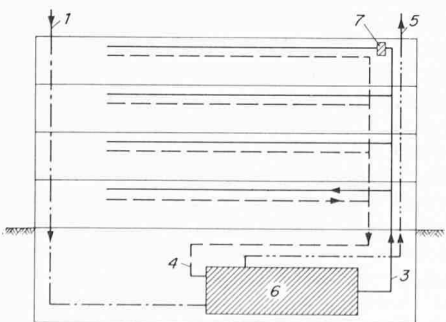


Bild 1. Prinzipschema einer Niederdruckanlage mit zentraler Luftbehandlung

- 1 Aussenluft
- 2 Zuluft zu den Unterzentralen
- 3 Zuluft zu den Räumen

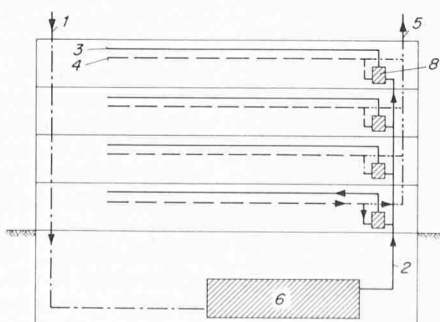


Bild 2. Prinzipschema einer Niederdruckanlage mit Unterzentralen

- 4 Abluft aus den Räumen
- 5 Fortluft
- 6 Zentrale zur Luftaufbereitung

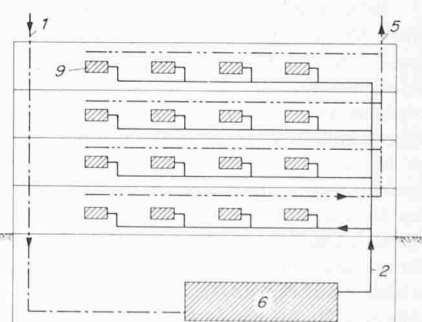


Bild 3. Prinzipschema einer Klimaanlage mit Induktionsgeräten

- 7 Nachregulierungsstation (im obersten Stockwerk)
- 8 Unterzentralen
- 9 Induktionsgeräte

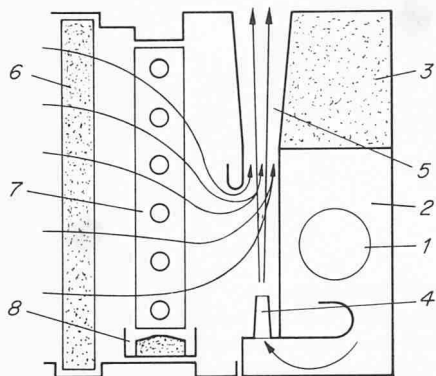


Bild 4. Prinzipschema eines Induktionsgerätes

- 1 Primärlufteintritt mit Vorrichtung zur Mengeneinstellung
- 2 Primärluftkasten
- 3 Schalldämpfer
- 4 Primärluftdüsen
- 5 Diffusor
- 6 Filter für Sekundärluft
- 7 Wärmeaustauscher
- 8 Kondensatrinne

Wie zu erwarten war, stellte die neuartige Bauweise der Luftkanäle einige Probleme, insbesondere in bezug auf Geräusch und Dichtheit der Kanäle, die aber mit der Zeit gelöst werden konnten. Die Unterzentralen werden beim Induktionssystem als Induktionsgeräte in jeder Fensterachse, also direkt im Raum angeordnet. Die gesamte im Raum umgewälzte Luft, von der früher 75% wieder in die Zentrale oder in stockwerksweise Unterzentralen zurückgeführt werden mussten, wird jetzt im Induktionsgerät geheizt bzw. gekühlt, verbleibt also im Raum. Die Treibkraft für diese Umwälzung liefert die von der Zentrale zugeführte Primärluft; indem sie im Induktionsgerät (Bild 4) mit hoher Geschwindigkeit durch geeignete Düsen austritt, reisst sie dank Ejektorwirkung zwei- bis fünfmal so viel Raumluft (Sekundärluft) mit. Diese durchströmt vorher einen Wärmeaustauscher (meist mit vorgesetztem Filter), mischt sich mit der Primärluft, und das so gekühlte oder geheizte Gemisch wird wieder in den Raum ausgeblasen.

Der Wärmetauscher, der in jedem Induktionsgerät eingebaut ist, wird mit kaltem oder warmem Wasser beschickt, je nachdem gekühlt oder geheizt werden soll. Von der Art des Wassersystems haben die Induktions-Klimaanlagen ihre Zunamen - Zweirohr-, Dreirohr-, Vierrohr-System - erhalten. Jedes dieser Systeme weist eine ganze Anzahl von Untervarianten auf, von denen die wichtigsten im folgenden beschrieben werden sollen. Es werden dabei nur Systemvarianten berücksichtigt, die eine unabhängige Temperaturregulierung für jeden einzelnen Raum gestatten. Diese Forderung ist heute beinahe selbstverständlich, obschon sie noch vor zehn Jahren stark übertrieben erschien. Die auffallend guten Erfahrungen mit solchen einzelregulierten Systemen bestätigen aber, dass sie zu Recht besteht.

#### Zweirohr-Systeme

Beim Zweirohr-Umschaltssystem besteht das Wassersystem aus einem Vorlauf und einem Rücklauf. Darin fließt im Sommer Kaltwasser und im Winter Warmwasser. Dementsprechend werden die Wärmeaustauscher der Induktionsgeräte von kaltem bzw. von warmem Wasser durchströmt. Die Schwierigkeit besteht darin, zu wissen, wann Sommer ist und wann Winter, denn in der Übergangszeit, die bei uns weit mehr als die Hälfte des Jahres ausmacht, kann es durchaus vorkommen, dass die besonnte Südseite des zu klimatisierenden Gebäudes Kühlung verlangt, während die Nordseite gleichzeitig geheizt werden muss. Beim Zweirohr-Umschaltssystem wird in diesem Bereich der Aussentemperatur die Primärluft in der Zentrale auf eine entsprechend höhere Temperatur gebracht, so dass die Heizlast der kältesten Räume gedeckt wird (Bild 5). In den Wasserleitungen fließt gleichzeitig kaltes Wasser, das durch Regulierventile den Wärmeaustauschern der Induktionsgeräte in solcher Menge zugeführt wird, dass es die Wärme der Sonnenstrahlung sowie interner Lasten (Personen, Beleuchtung, elektrische Apparate usw.) aufnimmt. Auch ein allfälliges Zuviel an Heizung in einzelnen Räumen wird auf diese Art ausgeglichen. Dadurch arbeitet das System in seiner

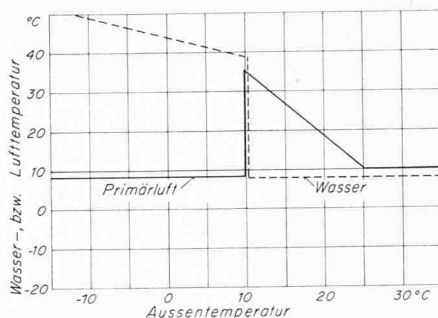


Bild 5. Verlauf der Primärlufttemperatur und der Betriebswassertemperatur im Zweirohr-Umschaltssystem in Abhängigkeit von der Aussentemperatur

Bild 6 (rechts). Prinzipschemata gebräuchlicher Betriebswasseranschlüsse für die Wärmeaustauscher von Induktionsgeräten

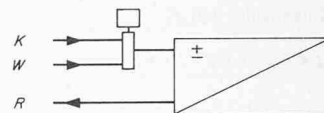


Bild 6a. Dreirohrsystem

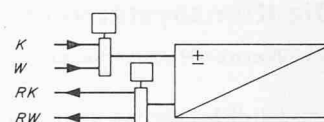


Bild 6b. Vierrohrsystem mit getrennten Ventilen

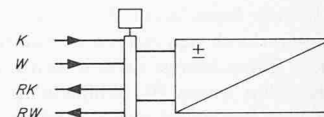


Bild 6c. Vierrohrsystem mit kombiniertem Ventil

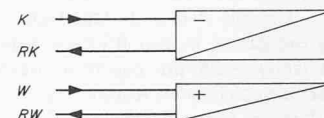


Bild 6d. Vierrohrsystem ohne Ventile mit Regulierung mittels Luftklappen im Luftstrom (Bild 7)

einfachsten Ausführungsform in der Übergangszeit verhältnismässig unwirtschaftlich, da in der ganzen Temperaturspanne gleichzeitig geheizt und gekühlt werden muss. Dieser Nachteil lässt sich aber durch Zusatzmassnahmen beträchtlich mildern.

Im Sommer sind sowohl die Primärluft als auch das Wasser kalt, und es kann nur noch zwischen mehr Kühlung und weniger Kühlung gewählt werden. Im Winter dagegen, das heisst unterhalb des Umschaltpunktes, der bei einer Aussentemperatur von etwa +10 °C liegt, wird das Wasser den Apparaten warm zugeführt, die Primärluft dagegen kalt. Dadurch ist auch im strengen Winter eine kleine Kühlmöglichkeit vorhanden, die bei voller Sonneneinstrahlung durchaus notwendig sein kann. Die Regulierung erfolgt durch besondere Raumthermostate und von diesen betätigte Regulierventile in den Wasserleitungen zu den Geräten.

#### Nichtumschaltendes Zweirohr-System

Dieses System arbeitet das ganze Jahr so wie das Umschaltssystem in der Übergangszeit. Das Gebäude wird durch die Primärluft geheizt, als ob keine Sonnenstrahlung und keine internen Lasten vorhanden wären. In den Leitungen zu den Geräten zirkuliert das ganze Jahr Kaltwasser, mit dem nach Bedarf gekühlt wird. Auch hier wird automatisch reguliert durch von Raumthermostaten betätigte Regulierventile in den Wasserleitungen. Das System ist in seiner einfachsten Ausführung hauptsächlich geeignet für Gegenden mit nicht allzutiefen Wintertemperaturen. Bei uns muss mindestens die Primärluft in Zonen derart abgeteilt werden, dass beispielsweise auf der Nord- und der Südseite mit verschiedenen Primärlufttemperaturen gearbeitet werden kann. Ausserdem muss das System der freien Kühlung verwendet werden, bei dem die Kältemaschine bei Aussentemperaturen unterhalb etwa 8 °C stillgelegt wird. Das erforderliche Kaltwasser wird dann direkt mit Hilfe der für die Primärluft-Aufbereitung angesaugten kalten Aussenluft gekühlt, die dabei gleichzeitig erwärmt und befeuchtet wird. Dadurch entfällt nicht nur der Aufwand für die Kühlung des Kaltwassers, sondern die in den Räumen durch Sonnenstrahlung, Beleuchtung usw. anfallende Wärme wird für die Aufwärmung der Primärluft wieder verwendet, ist also nicht vom Heizkessel aus zu liefern. Auch die Wärme, die infolge Überheizung einzelner Räume abzuführen ist, lässt sich bei diesem Verfahren zur Frischluft-Vorwärmung nutzbringend verwenden.

Ein Nachteil des Zweirohr-Systems ohne Umschaltung besteht darin, dass die Menge der Primärluft nach der Heizlast und nicht nach den Ventilationsbedürfnissen festgelegt werden muss, da sonst einzelne Räume zuwenig und andere zuviel geheizt würden.

### Dreirohr-Systeme

Bei diesen strömt die Primärluft das ganze Jahr mit annähernd konstanter Temperatur den Induktionsgeräten zu. Jedes Gerät weist eine Zuleitung für Warmwasser, eine für Kaltwasser und eine gemeinsame Rückleitung auf (Bild 6a). Ein Sequenzventil, das von einem Raumthermostaten gesteuert wird, führt dem Wärmetauscher entweder Kaltwasser oder Warmwasser in der benötigten Menge zu.

Es kann vorkommen, dass einzelne Apparate, zum Beispiel auf der Südseite, kühlen, während andere auf der Nordseite heizen. Es ist nun offensichtlich, dass dort, wo die Wasserrücklaufleitungen von den Apparaten auf der Nordseite mit denen auf der Südseite zusammenkommen, gewärmtes und gekühltes Wasser gemischt werden, was unwirtschaftlich ist. Da aber die Apparate bei den Betriebszuständen, wo gleichzeitig Heizung und Kühlung vorkommt, nur auf Teillast laufen, sind die dem Wärmetauscher zugeführten Wassermengen sehr klein – beispielsweise bei Halblast ungefähr ein Sechstel derjenigen bei Vollast – und die Temperatur des Rücklaufwassers liegt nur 1 bis 2 °C über bzw. unter der Raumtemperatur. Damit werden aber die Mischverluste beträchtlich kleiner als sie ab und zu beschrieben werden. Da ausserdem noch die vorhin erwähnte freie Kühlung verwendet wird, sind Mischungsverluste nur bei Aussentemperaturen von etwa 8 bis 18 °C möglich, nämlich nur solange, als gleichzeitig gekühlt und geheizt werden muss. Es ist das der gleiche Bereich, wo auch beim Zweirohr-Umschaltssystem gewisse Verluste auftreten.

Schwerwiegender ist beim Dreirohr-System eine gewisse hydraulische Empfindlichkeit, die bei falscher Anordnung des Wassernetzes zu unkontrollierbaren Strömungen führen kann. Die Vorgänge sind nicht einfach, weshalb der Entwurf eines Dreirohr-Systems eine ziemlich hochstehende Ingenieurarbeit erfordert.

Um Mischungsverluste weitgehend auszuschalten, wurde das Dreirohr-System mit zonierte Rücklauf geschaffen. Hier werden die Rückläufe in Gruppen oder Zonen zusammengefasst und, je nachdem ob ihre Temperatur über oder unter der Raumtemperatur liegt, der Warm- oder der Kaltwasseraufbereitung zugeführt.

### Vierrohr-System

Werden die Zonen im zonierte Dreirohr-System soweit verkleinert, bis jeder Apparat eine Zone erhält, so liegt das Vierrohr-System vor. Für jeden Apparat sind zwei Ventile vorhanden, ein Sequenzventil zum Regulieren im Vorlauf und ein weiteres Ventil im Rücklauf zum Umschalten (Bild 6b). In einem grösseren Gebäude handelt es sich um Hunderte von Ventilpaaren, und es bereitet einige Schwierigkeiten zu erreichen, dass die Ventile im Rücklauf genau dann umschalten, wenn jene im Vorlauf den Apparaten weder warmes noch kaltes Wasser zuführen. Diese Schwierigkeiten wurden durch Vereinigung beider Ventile in einem Körper und mechanischer Kupplung der Ventilstangen behoben (Bild 6c). Wegen der nicht konstanten Wassermenge bestehen auch bei diesem System gewisse Schwierigkeiten insofern, als der Wasserdruck in bestimmten Betriebszuständen zu hoch ansteigen und die Regulierung stören oder Geräusche verursachen kann. Daher wurden besondere Ventiltypen geschaffen, bei denen im System stets dieselbe Wassermenge umläuft.

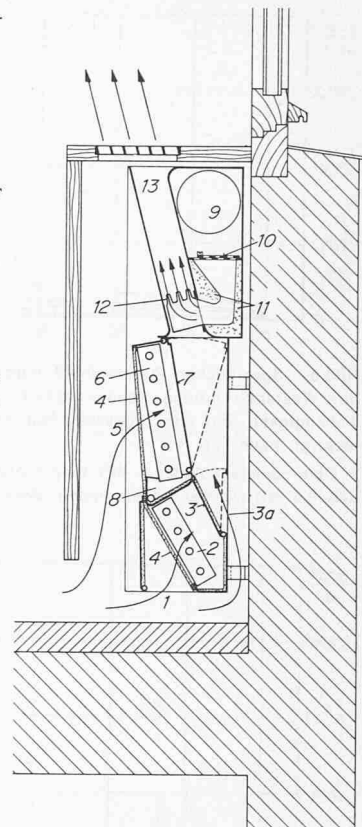
Die Regulierventile, die bei solchen Anlagen verwendet werden, haben infolge der geringen Wassermengen recht kleine freie Querschnitte und neigen daher zum Verstopfen oder Blockieren. Derartige Störungen werden hauptsächlich durch Schlacken hervorgerufen, die beim Schweißen der Rohre entstehen und anfänglich noch an den Rohrwänden haften, sowie durch Korrosionsprodukte, weshalb sie meist erst nach Jahren vorkommen.

Da sich ein Wärmetauscher anstatt durch Drosseln der ihn durchfliessenden Wassermenge auch durch Verändern der ihn durchströmenden Luftmenge regulieren lässt, wurden in neuester Zeit Apparate konstruiert, die zwei getrennte Wärmetauscher für Kühlung und Heizung enthalten und an vollständig getrennte Wassernetze angeschlossen sind (Bild 6d). Bei deren Verwendung sind im Wassernetz überhaupt keine Regulierventile mehr vorhanden. Die Regulierung erfolgt durch ein Luftklappensystem (Bild 7) derart, dass die Sekundärluft bei sehr kaltem Wetter den Lufterhitzer voll durchströmt, bei steigender Aussentemperatur diesen jedoch zunächst nur wenig, schrittweise aber immer mehr über einen Bypass überbrückt. Schliesslich wird ein immer grösserer Teil durch den Luftkühler geleitet. Bei dieser Regelungsart lässt sich das Wassernetz ebenso einfach bauen wie ein Zentralheizungsnetz, und es sind in ihm keine auf Verschmutzung empfindliche Organe mehr vorhanden.

Wie bei allen übrigen Systemen, so treten auch bei den Vierrohr-Systemen, im besondern beim Vierrohr-Klappensystem, gewisse Ver-

Bild 7. Induktionsgerät mit Klappenregulierung

- 1 Sekundärlufteintritt im Winter
- 2 Lufterhitzer
- 3 Isolierte Regulierklappe zu 2
- 3a Bypassöffnung
- 4 Filter für Sekundärluft
- 5 Sekundärlufteintritt im Sommer
- 6 Luftkühler
- 7 Regulierklappe zu 6
- 8 Isolierte Kondensatrinne
- 9 Primärluftanschluss
- 10 Drosselvorrichtung zur Mengeneinstellung
- 11 Schalldämpfer
- 12 Primärluftdüsen, bestehend aus vielen schmalen, dreidüsigen Elementen mit Zwischenräumen
- 13 Zuluftaustritt



luste infolge Wärmeleitung von warmen nach kalten Teilen oder durch Vermischung infolge undichter Ventile usw. auf. Diese bewegen sich in einer Grössenordnung von etwa 5% der Volleistung.

Bei den bisher beschriebenen Systemen zeichnet sich eine Entwicklung zu immer komplizierteren Einrichtungen ab. Man kann sich fragen, ob das richtig sei, oder ob nicht umgekehrt grössere Einfachheit anzustreben sei. Tatsächlich lassen sich bei guter und frühzeitiger Zusammenarbeit zwischen Architekt und Klimaingenieur Lösungen finden, die erheblich einfacher sind. Nachfolgend sei eine solche Möglichkeit beschrieben.

### Der Speichereffekt

Vor kurzer Zeit gelang es erstmals, den Speichereffekt quantitativ auf eine Art darzustellen, dass er einer elementaren Berechnung zugänglich wird [1]. An sich war der Effekt schon lange bekannt. Der Umstand aber, dass er mangels Unterlagen nicht berücksichtigt wurde, ist denn auch daran schuld, dass viele Klimaanlage bezüglich Kühlleistung zu reichlich bemessen sind. Im folgenden soll das Entstehen dieses Effektes beschrieben werden.

Die Kurve 1 in Bild 8 stellt den Verlauf des Wärmeeinfalls durch ein Fenster mit Verbundglas auf der Westseite des Sonnenstrahlung an einem heissen Sommertag dar. Bei dieser Kurve sind die Abzüge, die sich beispielsweise infolge von Dunst in der Atmosphäre oder Reflexionen an der Glasoberfläche ergeben, bereits berücksichtigt. Bei dem selben Fenster mit innerem Sonnenschutz ist die in den Raum eintretende Wärme noch ungefähr zwei Drittel so gross; sie wird durch Kurve 2 angedeutet. Wenn die äussere Scheibe des Verbundglases aus wärmeabsorbierendem oder beschichtetem Glas besteht, so ergäbe sich zusammen mit innerem Sonnenschutz die Kurve 3, bei der die in den Raum eintretende Wärmemenge noch ungefähr 45% derjenigen von Kurve 1 beträgt. Schliesslich gibt Kurve 4 den Fall mit äusserem Sonnenschutz und gewöhnlichem Verbundglas, wobei die abzuführende Wärmemenge noch 15% derjenigen bei ungeschütztem Glas ausmacht. Zur Kühllast gehören ausserdem noch die Transmission durch die Aussenwände und die innerhalb des Raumes anfallende Wärme von Personen, Beleuchtung und elektrischen Apparaten.

Von diesen Wärmemengen tritt ein grosser Teil in Form von Strahlung in den Raum ein. Die Luft wird von der Strahlung nicht direkt erwärmt; vielmehr muss die Wärmestrahlung vorerst von einer Wand oder einer andern Oberfläche absorbiert werden, welche sich dadurch erwärmt und die Wärme dann durch Konvektion an die Raumluft abgibt. Dadurch ergibt sich fast immer ein Unterschied

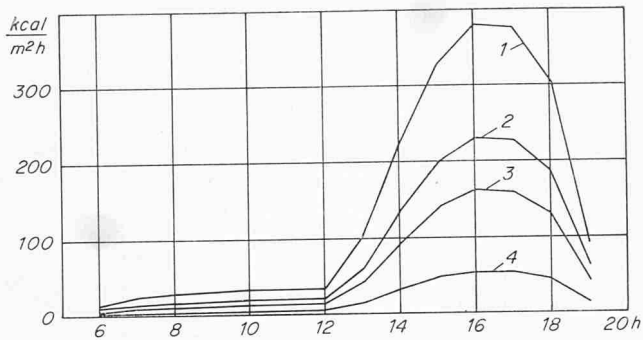


Bild 8. Spezifischer Wärmeeinfall durch ein Fenster mit Verbundglas auf der Westseite infolge Sonnenstrahlung an einem heissen Sommertag in Abhängigkeit von der Tageszeit; Höhenlage und Dunstfaktor sind berücksichtigt, nach [1]

1 Ohne Sonnenschutz; 2 mit Innenstoren; 3 mit Innenstoren und Aussen-scheibe mit wärmeabsorbierendem Glas; 4 mit Aussenstoren

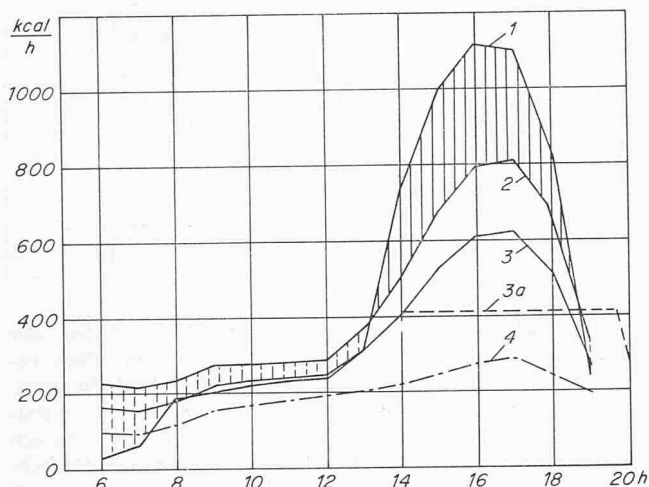


Bild 9. Wärmeeinfall und abzuführende Wärme pro Fensterachse wie Bild 8, Kurve 2 bzw. 3. Grösse der Achse  $1,9 \times 3,6$  m, Grösse des Fensters  $1,8 \times 2,2$  m, Grösse der Brüstung  $1,9 \times 0,8$  m,  $k$ -Wert  $1,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$ ; keine Beschattung durch Sturz und Leibung

1 Wärmeeinfall (entsprechend Kurve 2 von Bild 8); 2 Abzuführende Wärme bei Berücksichtigung der Speicherung; 3 wie Kurve 2, jedoch mit wärmeabsorbierendem Glas aussen; 3a wie 3 unter Zulassung einer vorübergehenden Temperaturerhöhung im Raum; 4 wie Kurve 2, jedoch mit Innenstoren

zwischen der momentan in den Raum eintretenden und der momentan aus dem Raum abzuführenden Wärmemenge. Wie Bild 9 zeigt, wird dadurch ein Spitzenausgleich geschaffen. Das Maximum der Kurve 2, die die aus dem Raum abzuführende Wärmemenge darstellt, liegt tiefer und ist zeitlich etwas verschoben gegenüber dem Maximum der momentan in den Raum eintretenden Wärmemenge, Kurve 1. Zur Zeit des grössten Wärmeeinfalls in den Raum muss also weniger abgeführt werden als einfällt (der Unterschied ist durchgehend schraffiert). Dagegen wird ein Ausgleich geschaffen, indem zu Zeiten kleinen momentanen Wärmeeinfalls mehr abgeführt wird (unterbrochen schraffierte Fläche). Wichtig ist, dass die Maximalleistung der Anlage, welche durch das Maximum der momentan abzuführenden Wärmemenge bestimmt ist, kleiner wird als dem momentanen Wärmeeinfall entspräche.

Kurve 3 entspricht Kurve 2, jedoch für Verbundglas mit äusserem wärmeabsorbierendem Glas und Innenstoren, und Kurve 4 zeigt ebenfalls unter Berücksichtigung der Speicherung den Fall der gewöhnlichen Verbundverglasung mit äusserem Sonnenschutz.

Wird zugelassen, dass in der allerheissesten Zeit die Raumtemperatur noch um 2 bis  $3^\circ \text{C}$  ansteigen darf, so lässt sich die Kurve 3 durch die gestrichelte Linie 3a ersetzen, wodurch sich das Maximum des Wärmebedarfs weiter verringert. Die während der betreffenden Zeitperiode zu wenig abgeführte Wärme muss nun aber später abgeführt werden, denn innerhalb von 24 Stunden müssen die zu- und abgeführten Wärmemengen gleich gross sein.

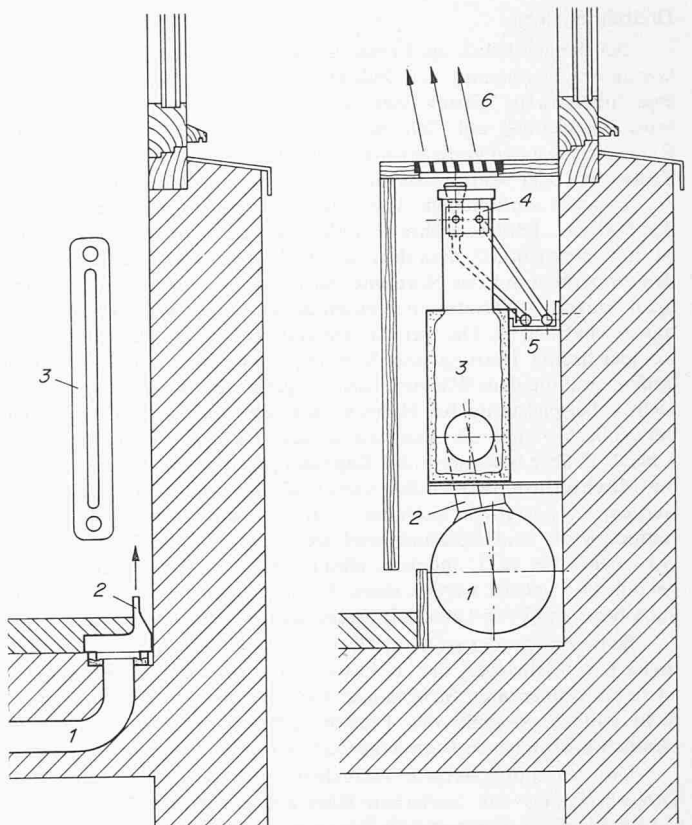


Bild 10. Nachwärmesystem mit Zentralheizung

- 1 Luftzuführung
- 2 Luftaustritt
- 3 Radiator oder Konvektor

Bild 11. Nachwärmesystem mit Schalldämpfer

- 1 Zuluftverteilkanal
- 2 Luftanschluss
- 3 Schalldämpfer
- 4 Wärmeaustauscher
- 5 Betriebswasserleitungen zu 4
- 6 Luftaustritt

Mit einer so stark verringerten Kühllast gelingt es nun, die Kühlung eines Raumes mit der selben Luftmenge durchzuführen, die für genügend Ventilation ohnehin erforderlich ist. Diese Luft wird den Räumen das ganze Jahr mit einer Temperatur von rund  $12^\circ \text{C}$  (im Sommer praktisch gesättigt) zugeführt. Die so erreichte Kühlleistung genügt in unserem Beispiel (Bild 9, Kurve 3) bei einer Fassade mit 60% Verbundverglasung, äusserer Scheibe aus wärmeabsorbierendem Glas und innerem Sonnenschutz sowie einer Besetzung von zwei Personen pro Achse, um die anfallende Wärme bei einer Ventilationsrate pro Person von rund  $52 \text{ m}^3/\text{h}$  abzuführen.

In jedem Raum wird entsprechend nachgewärmt, wozu ein normales Radiatorheizungssystem dienen kann (Bild 10). Wenn die Radiatoren mit den neuerdings erhältlichen, sehr preisgünstigen und heute wohl auch recht zuverlässigen thermostatischen Radiatorventilen ausgerüstet sind, ergibt sich gleichzeitig auch eine unabhängige Einzelregulierung jedes einzelnen Raumes.

Anstelle von Radiatoren oder Konvektoren mit den üblichen Luftauslässen können für Nachwärmung und Raumheizung auch Spezialluftauslässe mit eingebautem Schalldämpfer und Nachwärmer nach Bild 11 verwendet werden. Ausserdem finden sich noch besondere Induktionsgeräte auf dem Markt, die luftseitig reguliert werden.

Die örtliche Nachwärmung scheint auf den ersten Blick unwirtschaftlich zu sein. Sie wird jedoch bei allen bisher betrachteten Systemen in irgendeiner Form verwirklicht, denn die Aussenluft muss immer ungefähr auf  $12^\circ \text{C}$  heruntergekühlt werden, um die notwendige Entfeuchtung zu erreichen. Wird darauf verzichtet, so steigt im Sommer die Raumfeuchtigkeit über die zulässige Grenze. Bei unserem hier betrachteten System kann ausserdem bei geeigneter Schaltung die am Kondensator der Kältemaschine anfallende Wärme in der Übergangszeit zur Nachwärmung benützt werden. Ausserdem ist meistens auch bei bedecktem Himmel eine gewisse diffuse Wärmestrahlung vorhanden. Da deswegen der Sonnenschutz nicht gesenkt wird, kann so ein erheblicher Prozentsatz der Vollastwärmemenge anfallen, wodurch sich die Nachwärmung entsprechend verringert.

Voraussetzung für dieses wenig aufwendige System ist also ein guter Sonnenschutz des Gebäudes. Der äussere Sonnenschutz ist am wirksamsten, lässt sich aber aus architektonischen Gründen oft nicht anwenden. Bei innerem Sonnenschutz ist wärmeabsorbierendes Glas zu verwenden. Um in diesen Fragen richtig zu entscheiden, sollte sich der Architekt sehr frühzeitig mit dem Klimaingenieur in Verbindung setzen. Auch vom Standpunkt des Komfortes aus ist ein guter Sonnenschutz erwünscht. Ähnliche Systeme, die oft nur als Teilklimaanlagen (Ventilation mit Be- und Entfeuchtung der zugeführten Luft) gebaut sind, haben sich in grossen Gebäuden bewährt [2]. Sie bewirken nicht nur Kühlung im Sommer, sondern als wesentlichen Vorteil auch Ventilation und Befeuchtung im Winter.

Im vorher besprochenen System bestehen noch weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Insbesondere kann im Winter die Abluftwärme zur Vorwärmung der Zuluft ausgenutzt werden, und im Sommer kann die Gebäudeabluft für die Verbesserung der Wärmeabfuhr aus dem Rückkühlwerk für das Kühlwasser der Kältemittelkondensatoren dienen und so helfen, die Motorleistung der Kälteanlage zu verringern. In Ausnützung aller bestehenden Möglichkeiten kann die Ventilationsluftmenge unter Umständen bis auf das Doppelte des minimal Notwendigen erhöht werden, ohne dass deshalb die Energiekosten die üblichen Werte übersteigen.

### Grossraumbüros

Auch in der Schweiz werden immer mehr Grossraumbüros angewendet. Dabei muss klimatechnisch zwischen einer Aussenzone entlang den Wänden und einer Innenzone unterschieden werden. Die Aussenzone wird meistens 5 bis 6 m tief angenommen, da weiter innen die natürliche Beleuchtung nicht mehr genügt. Die Innenzone weist mit Ausnahme des obersten Geschosses überhaupt keinen Wärmeaustausch mit aussen auf, da sie auf allen Seiten von klimatisierten oder geheizten Räumen umgeben ist. Dagegen ist der Wärmeeinfall infolge Beleuchtung ganz erheblich; erreicht doch diese heute in Europa Werte von 50 bis 60 W/m<sup>2</sup>, in Einzelfällen sogar bis 100 W/m<sup>2</sup>. In einem solchen Büro ist ohne Klimaanlage nicht auszukommen.

Auch in diesem Falle tritt ein ganz erheblicher Teil der Wärme in Form von Wärmestrahlung in den Raum ein. Die abzuführende Wärmemenge erreicht aber nach einigen Stunden Betrieb Werte, bei denen kein wesentlicher Unterschied zwischen der momentan zugeführten und der momentan abzuführenden Wärmemenge besteht.

Um den Wärmeeinfall für die Klimaanlage zu verringern, wird neuerdings die Lampenabsaugung angewendet. Die Abluft aus den Räumen wird, wie Bild 12 zeigt, über die Lampengehäuse geleitet, wo sie bis drei Viertel der in den Lampen und den zugehörigen Transformatoren erzeugten Wärmemenge aufnimmt; diese tritt somit gar nicht erst in den Raum aus. Dadurch kann die Klimaanlage bezüglich Luftmenge erheblich kleiner gehalten werden. Die Leuchte wird ausserdem näher bei ihrer optimalen Temperatur gehalten und die Lichtausbeute ist deshalb höher als bei ähnlich eingebauten Leuchten ohne Absaugung. Die Reflektoren bedürfen allerdings periodischer Reinigung, da sie infolge Unreinigkeiten in der Abluft rasch verschmutzen.

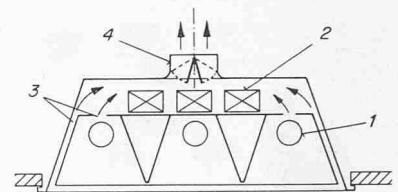
### Zweikanalanlagen

Das Prinzip der Zweikanalanlage ist einfach: In der Nähe der zu klimatisierenden Räume werden warme und kalte Luft miteinander derart gemischt, dass sich im Raum die gewünschte Temperatur einstellt. Im übrigen sei auf das einschlägige Schrifttum verwiesen [3], [5], [6].

Die vorhin am Beispiel eines Einkanal-Nachwärmesystems besprochenen Möglichkeiten zur Verringerung der Spitzenleistung

Bild 12. Einbau-Deckenleuchte mit Abluftkühlung

- 1 Leuchtröhren
- 2 Transformator (Drossel)
- 3 Abluftschlitze
- 4 Abluftstutzen mit Regulierklappe



können gleicherweise für Zweikanalsysteme ausgeschöpft werden; dadurch entsteht das Zweikanalsystem ohne Umluft. Statt der Radiatorheizung kann Warmluft dem warmen Kanal des Zweikanalsystems entnommen werden, um den Raum im gewünschten Masse zu heizen. Dieses Verfahren bedeutet eine wesentliche Vereinfachung und Verbesserung des Zweikanal-Prinzips, da die Umluft und mit ihr die Geruchsvermischung entfallen, der Kraftbedarf für Ventilatorantrieb erheblich kleiner ausfällt und auch die Kanäle kleiner werden. Dadurch eröffnen sich für das Zweikanal-System völlig neue Perspektiven in der Luftverteilung. Der Luftaustritt unter dem Fenster wird wirtschaftlich tragbar, womit auch Blasluftsysteme entfallen. Für Einzelregulierung jeder Achse fehlt allerdings noch ein preiswerter Mischapparat kleiner Leistung, der mit einem Induktionsauslass versehen ist. Der Vorteil, dass zum Beispiel Versammlungsräume an das gleiche System angeschlossen und nur temporär mit grosser Luftmenge bedient werden, bleibt gewahrt.

### Andere Systeme

Ausser den bisher beschriebenen Systemen gibt es noch zahlreiche andere, die unter Umständen für einen gegebenen Bau günstige Lösungen darstellen können. Darunter sind auch die Fan-Coil-Apparate (Klimatruhen) zu nennen. Diese Apparate können jederzeit anstelle von Induktionsgeräten in den Räumen aufgestellt werden. Sie enthalten einen kleinen Ventilator anstelle der als Strahlpumpen wirkenden Düsen. Werden mit solchen Apparaten gewisse technische Mängel wie fehlende Befeuchtung im Winter in Kauf genommen, so kann ausserdem noch das Primärluftsystem weggelassen werden, eine Lösung, die in Gegenden, wo die Wintertemperatur kaum unter Null sinkt, durchaus genügt. Auch dieser Anlagentypus kann mit Drei- oder Vierrohr-Systemen so gebaut werden, dass Einzelregulierung jedes Raumes möglich ist.

In unserem Klima muss allerdings eine Befeuchtung im Winter immer vorgesehen werden. Sie ist zur Rechtfertigung des Einbaus einer Klimaanlage noch wichtiger als die hier hauptsächlich behandelte Abführung der Sommerhitze. Die Luft wird bei allen beschriebenen Systemen in der Zentrale be- und entfeuchtet, da die zu Ventilationszwecken zuzuführende Luftmenge auch für diesen Zweck gross genug ist.

### Literaturverzeichnis

- [1] Handbook of Air Conditioning System Design, Carrier Air Conditioning Company, McGraw Hill 1965.
- [2] W. Ziemia. Klima-, Lüftungs- und Heizungsanlagen im Hochhaus «zur Palme». SBZ 83 (1965), H. 50, S. 932.
- [3] J. Ernst. Die Klimaanlagen im Sulzer-Hochhaus. SBZ 84 (1966), H. 44, S. 771.
- [4] W. Ziemia. Klimakonvektoren. SBZ 72 (1954), H. 24, S. 354.
- [5] K. Daniels. Die Hochdruckklimaanlagen. Düsseldorf 1967, VDI-Verlag.
- [6] R. Plank. Handbuch der Kältetechnik, 12. Bd. S. 360-384. Berlin, Heidelberg, New York 1967, Springer Verlag.
- [7] A. Märki. Die klimatechnischen Anlagen im neuen Bürogebäude der Escher Wyss AG in Zürich. SBZ 73 (1955), H. 26, S. 402-409.

## Wettbewerb Kantonales Technikum in Yverdon

DK 727.113

Der in zwei Stufen sich abwickelnde Projektwettbewerb für ein Technikum auf dem Gelände von La Villette in Yverdon wurde bereits im November 1965 (SBZ 1965, H. 46, S. 859) ausgeschrieben, im August 1966 (SBZ 1966, H. 32, S. 582) als öffentlicher Wettbewerb, und im Dezember 1967 (SBZ 1967, H. 50, S. 922) mit Bezug auf die überarbeiteten Projekte durch eine Expertenkommission abschliessend entschieden.

Zur Teilnahme am **allgemeinen Projektwettbewerb** (1965/66) waren berechtigt die im Kanton Waadt anerkannten Architekten, welche im Kanton heimatberechtigt oder als Schweizer Bürger seit mindestens 1. Oktober 1965 im Kanton Waadt niedergelassen sind. Architekten im Preisgericht waren J.-P. Cahen, Lausanne, Prof. Ch.-

Ed. Geisendorf ETH, Zürich, B. Huber, Zürich, J.-P. Merz, Lausanne und als Stadtbaumeister R. Rouilly, Yverdon.

Das Technikum war für 500 Schüler zu bemessen, welche sich auf die Lehrabteilungen Mechanik, Elektrotechnik und Elektronik, Bautechnik und Agrikulturtechnik verteilen. Gemäss dem ausführlichen Raumprogramm waren verschiedene Technikumsbauten erwünscht nach folgender Unterteilung: a) Tronc commun: 19 salles de cours, 2 salles de dessin technique, auditoire général, auditorios, salles de préparation et laboratoires pour l'enseignement de la physique, de la chimie, de la mécanique et de l'électrotechnique, laboratoire de langues; b) Division de mécanique. c) Division d'électrotechnique et d'électronique; d) Division de génie civil et de génie rural; e) Ad-