

Ein Verfahren zur Bestimmung des Energie- und Stoffaufwands zur Luftbehandlung bei raumluftechnischen Anlagen

Von der Fakultät Energietechnik der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Erik Reichert

aus Boxberg

Hauptberichter:
Prof. Dr.-Ing. Heinz Bach

Mitberichter:
Prof. Dr.-Ing. Hans Hasse

Tag der Einreichung:

14. Oktober 1999

Tag der mündlichen Prüfung:

20. Juni 2000



Kurzfassung

Der Energieverbrauch von ausgeführten Anlagen zur technischen Gebäudeausrüstung wird heute im wesentlichen durch innere Einflüsse bestimmt. Dies resultiert in erster Linie aus der Vorgabe, Räume optimal zu nutzen und damit aus einer genaueren Definition der von der Anlage einzuhaltenden Bedingungen im Raum. Wesentliche Einsparpotentiale ergeben sich damit vorwiegend aus der Überlegung, die Energielieferung der Anlage an den durch die Nutzung und die Nutzenanforderungen vorgegebenen Bedarf des Raumes anzupassen. Möglichkeiten dazu sind bei RLT-Anlagen durch geeignete Verfahren zur Luftbehandlung und Luftführung gegeben. Im Gegensatz zum Teilbereich der Luftbehandlung liegen für die Führung der Luft in Räumen bereits allgemeingültige Auslegungsverfahren vor.

Inhalt der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung und Verifikation eines Verfahrens, das es dem Planer einer RLT-Anlage erlaubt, den *Energie- und Stoffaufwand zur Luftbehandlung* einfach und reproduzierbar zu berechnen. Dieses *h,x-Zonen-Verfahren* ist auf beliebige Anlagentechniken und Betriebsweisen, Nutzenanforderungen und Gebäude anwendbar und kann als Modul einer alle Systembereiche umfassenden Methode zur Bestimmung des Gesamtenergie- und Stoffaufwands von RLT-Anlagen verwendet werden. Die Ergebnisse können je nach Zielsetzung der Planungsaufgabe sowohl in Wirtschaftlichkeitsrechnungen als auch in Emissionsbetrachtungen Verwendung finden und so bereits in einer frühen Planungsphase einen wesentlichen Beitrag zum Vergleich verschiedener Anlagenkonzepte leisten.

Zur Entwicklung des *h,x-Zonen-Verfahrens* wird die Theorie der *Bedarfsentwicklung* angewandt, nach der Systeme entgegengesetzt zum Energiefluss, also entgegen der herkömmlichen Betrachtungsrichtung, untersucht werden. Ausgehend vom Bedarf des Raumes wird danach zunächst der Aufwand zur Nutzenübergabe bestimmt. Dieser ist erforderlich, um den Nutzen mit einer Anlage in den Raum einzubringen. Darauf aufbauend folgt die Bestimmung des Anlagenaufwands zur Verteilung und schließlich des Aufwands zur Erzeugung. Nach der Herleitung des *h,x-Zonen-Verfahrens* wird es in dieser Arbeit durch umfangreiche Simulationsstudien für die heute am weitesten verbreiteten Anlagenvarianten (KVS-Anlage, VVS-Anlage und DEC-Anlage) und Anlagenbetriebsbedingungen verifiziert.

Das Verfahren basiert auf einer Einteilung des *h,x-Diagramms* in Bereiche (*h,x-Zonen*), innerhalb derer alle Zustandsverläufe der Luft ähnlich sind, d.h. in denen die gleichen Komponenten der untersuchten RLT-Anlage betrieben werden. Anzahl und Form der *h,x-Zonen* hängen dabei von den verwendeten Komponenten der RLT-Anlage und deren Anordnung, d.h. vom Anlagentyp, sowie von deren Betriebsweise ab. Lage und Größe der *h,x-Zonen* sind durch die Nutzenanforderungen im Raum und die Auslegungsgrößen der RLT-Anlage bestimmt. Nach einer Auswertung der Wetterdaten lassen sich die Energie- und Stoffaufwandswerte jeder Anlagenkomponente zonenweise über einfache Bilanzgleichungen berechnen.

Abstract

The energy consumption of realized heating, ventilation and air conditioning (HVAC-) systems in buildings is mainly determined by internal influences. This first of all is a result of the objective to make optimal use of the room and consequently it is a result of the precise definition of the conditions the system has to match. Major energy saving potentials arise from the considerations to adapt energy delivery to the demand, given by room usage and its requirements. Air conditioning systems offer the possibility to make use of suitable methods for air treatment and air flow pattern. In contrast to air treatment there already exist generally applicable design procedures for air flow pattern in rooms.

The content of the work presented is the development and verification of a procedure, which allows the designer of an air conditioning system to calculate the energy and substance expenditure of air treatment in a simple and reproducible way. The procedure is applicable to any system principle, any operation mode, benefit requirements and building type. It may well be used as a module of an overall procedure to determine the total energy expenditure of air conditioning systems. Depending on the objectives of the design task the results may be used in economic efficiency analysis as well as for emission investigations. Thus it makes a major contribution to the comparison of different system concepts already at an early stage of planning.

To develop the method, the theory of demand development is applied. Its direction of investigation is contrary to the direction of the energy flow. Starting with the energy and substance demand of the room, the expenditure for the benefit delivery is determined. The expenditure for the benefit delivery is necessary to satisfy the demand of the room by means of the technical system. Based on this, the cost of distribution within the system and finally the effort for generation are calculated. The method is verified through extensive simulation studies for the most popular systems - variable volume system (VVS), constant volume system (CVS), desiccative cooling system (DEC) - under typical operating conditions.

The procedure is founded on a division of the enthalpy-humidity-(h,x)-diagram into areas, named "h,x-zones" among which the state transition of the air is similar. As a consequence, the same components of the air conditioning system investigated are operated in each h,x-zone. The number and shape of the h,x-zones depend on the components used in the air conditioning system and their order, which in turn depends on the system type, as well as on their operation mode. Position and size of the h,x-zones are determined by benefit requirements of the room and the design variables of the air conditioning system. After an evaluation of weather data the energy and substance expenditure is calculated zone wise for each system component by simple balance equations.

Inhalt

Nomenklatur

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Problemstellung und Zielsetzung	2
1.3	Literaturüberblick	3
1.3.1	Betriebssimulation von Gebäuden und raumluftechnischen Anlagen	4
1.3.2	Verfahren zur Berechnung des Energieaufwands von RLT-Anlagen	5
1.4	Lösungsweg	7
2	Bedarfsentwicklung in klimatisierten Gebäuden	8
2.1	Methode der Bedarfsentwicklung	8
2.2	Referenzbedarf klimatisierter Gebäude	12
2.3	Aufwand der Nutzenübergabe	15
2.4	Aufwand der Verteilung	20
2.5	Aufwand der Erzeugung	20
3.	Entwicklung des h_x-Zonen-Verfahrens	21
3.1	Grundsätzliche Vorgehensweise	21
3.1.1	Randbedingungen und Vereinfachungen	21
3.1.2	Deckung des Bedarfs eines Raumes durch eine KVS-Anlage	24
3.1.3	Deckung des Bedarfs eines Gebäudes	31
3.2	Einfluß der Betriebsweise	40
3.2.1	Nutzungs- und Betriebszeit	40
3.2.2	adiabater Wäscher	41
A.	Regelung des Befeuchtungsgrades	41
B.	Nutzung des Befeuchtungspotentials	44
3.2.3	Wärmerückgewinnung	48
3.2.4	Umluftbeimischung	49
3.3	Einfluß der verwendeten Komponenten	53
3.3.1	adiabate Kühlung der Abluft	53
3.3.2	Dampfbefeuchter	56
3.4	Einfluß des Anlagentyps	59
3.4.1	VVS-Anlage	59
3.4.2	DEC-Anlage	66
3.4.3	Zweikanal-Klimaanlage	71
3.4.4	kombinierte Luft-Wasser-Systeme	76

3.5	Einfluß der vorgelagerten Untersysteme	77
3.5.1	Nutzenanforderungen	77
3.5.2	Luftführung	82
3.5.3	Lufttransport	86
3.6	Einfluß der realen Betriebsweise der Luftbehandlungskomponenten	87
3.6.1	Regelung und Speichereffekte	87
3.6.2	Übertragungsverluste	88
3.6.3	Betriebsverhalten	89
3.6.4	elektrischer Energieaufwand	93
4.	Verifikation des h,x-Zonen-Verfahrens	94
4.1	Vorgehensweise	94
4.2	Randbedingungen der Beispielfälle	95
4.2.1	Gebäude, Nutzung und Nutzenanforderungen	95
4.2.2	Wetterdaten	102
4.2.3	Anlagentypen, Anlagenkomponenten und Betriebsweisen	102
4.2.4	Übersicht	103
4.3	Ergebnisvergleich von Simulation und Berechnung	105
4.3.1	KVS-Anlage	106
4.3.2	VVS-Anlage	109
4.3.3	DEC-Anlage	111
5.	Zusammenfassung	112
5.1	Aufgabenstellung und Ergebnis	112
5.2	Grundzüge des h,x-Zonen-Verfahrens	113
5.3	Umsetzung der Lösungsansätze	113
6.	Literaturverzeichnis	116
Anhang		
A.	Berechnung des mittleren Luftmassenstroms bei VVS-Anlagen	A.1
B.	Eingabedateien zur Abbildung von Gebäude und RLT-Anlage in TRNSYS14.2 für Fälle Nr. CD15	B.1
C.	Berechnungsbeispiele für die Fälle Nr. CD15	C.1
D.	Zusammenstellung der Verifikationsergebnisse für die KVS-Anlage	D.1
E.	Zusammenstellung der Verifikationsergebnisse für die VVS-Anlage	E.1