

Energieaufwand maschineller Wohnungslüftung in Kombination mit Heizsystemen

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

vorgelegt von

Konstantinos Stergiaropoulos

aus Sindelfingen

Hauptberichter:
Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Mitberichter:
Prof. Dr.-Ing. Heinz Bach

Tag der Einreichung:
26.06.2006

Tag der mündlichen Prüfung:
27.10.2006



Universität Stuttgart **IGE** Institut für Gebäudeenergetik

2006

Kurzfassung

Heiz- und raumluftechnische Anlagen dienen dazu, raumklimatische Anforderungen des Raumnutzers zu erfüllen. In der vorliegenden Arbeit werden die raumklimatischen Nutzenanforderungen, die zu sie kennzeichnenden unterschiedlichen Lasten im Raum führen, identifiziert. Die „operative Temperatur“ wird durch die messbaren Nutzenanforderungen „Strahlungstemperatur“ und „Lufttemperatur“ ersetzt. Neben diesen werden Maximalwerte oder Mindestwerte für die Stoffkonzentration und den Feuchtegehalt als weitere raumklimatische Nutzenanforderungen eingeführt. Durch die Einzelbetrachtung der raumklimatischen Parameter wird deutlich, dass es zur Erfüllung aller Nutzenanforderungen zu separaten technischen Systemlösungen kommen muss. Die Systemlösungen, d.h. die Kombination einzelner Systeme, müssen die Funktionen stellen, die zwingend aus den Nutzenanforderungen resultieren. Die konvektive Last ist weiter in die Stofflast und die konvektive Wärmelast zu unterteilen. Die heiz- und raumluftechnischen Anlagen müssen die einzeln zu betrachteten Lasten im Raum abführen.

Kombinationen von Heizsystemen und maschinellen Lüftungssystemen unterscheiden sich von alleinigen Heizsystemen dadurch, dass der erwartete konvektive und radiative Nutzen gezielt übergeben werden kann. Je gezielter der Nutzen übergeben werden kann, umso geringer ist der Energieaufwand. Um den Vorteil der Komplementärsysteme genügend vollständig zu erfassen, wird die „operative Temperatur“ durch die messbaren Nutzenanforderungen „gerichtete Strahlungstemperatur“ (im Halbraum) und „Lufttemperatur“ (konvektiv) ersetzt.

Das Betriebsverhalten von maschinellen Wohnungslüftungen mit Wärmerückgewinnung in Kombination mit unterschiedlichen Heizsystemen wird untersucht. Hierfür wird für das konvektive Nutzenübergabesystem Wohnungslüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung ein Modell entwickelt, das die unterschiedlichen Betriebszustände trocken, feucht, bereift oder vereist abbildet.

Diese Komplementärsysteme werden mit der Bedarfsentwicklungsmethode bewertet. Der Energieaufwand für die Nutzenübergabe wird mit einer gekoppelten Simulation von Gebäude und Anlagentechnik berechnet.

Abstract

HVAC systems serve to fulfil room climate requirements of the user. In this thesis room climate requirements are identified, which lead to specific different loads in the room. The "operativ temperature" is replaced by the measurable user requirements "radiant temperature" and "air temperature". In addition, maximum values or minimum values for the contaminant concentration and the humidity as further room climate requirements are introduced. By the individual consideration of the room climate parameters it becomes evident that for the fulfilment of all use requirements separate technical system solutions are necessary. The over all system, i.e. the combination of individual systems, has to provide the functions, which result compellingly from the use requirements. The convective load has to be divided into the mass load and the convective heat load. HVAC systems have to exhaust these individually considered loads in the room.

Combinations of heating systems and mechanical ventilation systems differ from heating systems only by the fact that the expected convective and radiative benefit can be handed over purposefully. The better this can be fulfilled, the smaller is the energy expenditure. In order to realize the advantage of the complementary systems completely, the "operativ temperature" is replaced by the measurable "directional radiant temperature" (in the half space) and "air temperature" (convectiv).

The operational characteristics of domestic ventilation systems with heat recovery in combination with different heating systems are examined. For this purpose a model of the domestic ventilation system with heat recovery is developed, modelling the different operating conditions dry, humid, rimy or icy.

These complementary systems are evaluated with the demand development method. The energy demand and the energy expenditure are calculated with a coupled simulation of the building and the HVAC systems.

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur

1	Einleitung	1
2	Analyse	4
2.1	Grundlagen der maschinellen Wohnungslüftung	4
2.1.1	Bereifung im Luft/Luft-Plattenwärmeübertrager	6
2.2	Bewertung von Wohnungslüftungsgeräten in Verordnungen und Normen für das Genehmigungsverfahren	15
2.2.1	Wärmeschutzverordnung 1995	15
2.2.2	Energieeinsparverordnung 2002	16
2.2.3	DIN V 4701-10	18
2.2.4	DIBt-Prüfverfahren	21
2.3	Bedarfsentwicklungsmethode	26
2.3.1	Allgemeines	26
2.3.2	Systembereiche Nutzenübergabe, Verteilung und Erzeugung	27
2.3.3	Referenzenergiebedarf beheizter Räume $Q_{0,N}$	29
2.3.4	Energieaufwand der Nutzenübergabe Q_1	30
3	Theorie	32
3.1	Raumklimatische Nutzenanforderungen	32
3.2	Definition der Lasten	33
3.3	Diskussion der Lüftungsarten	35
3.3.1	Fugenlüftung	37
3.3.2	Fensterlüftung	43
3.4	Erweiterung der Nutzenanforderungen	43
3.4.1	Stofflast und Feuchtelast	43
3.4.2	Strahlungstemperatur und Lufttemperatur	44
3.4.3	Wärmerückgewinnung	47
4	Experimente	52
4.1	Konzeption der Versuchsaufbauten und Messmethoden	52
4.2	Versuchsablauf	52
4.3	Ergebnisse der Experimente	52
5	Mathematische Modelle, Annahmen und Randbedingungen	58
5.1	Numerische Simulation	58
5.2	Gebäudemodell	58
5.3	Raummodell	58
5.3.1	Radiatives Raummodell und Strahlungslast	59
5.3.2	Konvektives Raummodell und konvektive Last	60
5.4	Nutzungsmodell	61
5.5	Feuchtelast	62

5.6	Stofflasten	62
5.6.1	Kohlendioxidlast	62
5.6.2	Olfaktorische Last	63
5.7	Referenzheizsystem	64
5.7.1	Konvektives Referenzheizsystem	64
5.7.2	Radiatives Referenzheizsystem	64
5.8	Modelle für Heizkörper und Elektro-Direktheizkörper	65
5.9	Modell für Wohnungslüftungsgerät mit Wärmerückgewinner	65
5.9.1	Wärmeübertrager	65
5.9.2	Berechnung der Temperatur in einer Zelle	68
5.9.3	Berechnung des Temperaturverlaufs	70
5.9.4	Strömungswiderstand und Druckabfall	71
5.9.5	Kondensation und Vereisung	73
5.9.6	Ventilatoren im Wohnungslüftungsgerät	74
5.9.7	Interpolation der Stoffgrößen	75
5.10	Regelung	75
5.10.1	Thermostatventil (P-Regler)	75
5.10.2	PI-Regler	75
6	Validierung des Wärmerückgewinnermodells	76
6.1	Temperaturverlauf im Wärmerückgewinner	76
6.2	Temperaturverlauf im Wärmerückgewinner mit Vereisung	76
6.3	Druckabfall im Wärmerückgewinner	78
7	Bewertungsergebnisse	80
7.1	Energieaufwand für Nutzenübergabe ohne Wärmerückgewinnung	81
7.1.1	Energieaufwand im radiativen Raum	81
7.1.2	Energieaufwand im konvektiven Raum	83
7.2	Energieaufwand für die Nutzenübergabe mit Wärmerückgewinnung	84
7.2.1	Energieaufwand im radiativen Raum	84
7.2.2	Energieaufwand im konvektiven Raum	84
7.3	Wärmerückgewinn im Verlauf des Jahres	87
7.3.1	Frostschutzstrategie	87
8	Zusammenfassung	89
9	Literaturverzeichnis	92
10	Anhang	96
10.1	Untersuchungen zur Bereifung von Platten und Spalten	96
10.2	Aufbau und Abmessungen des Modellraums	97
10.3	Analytische Bestimmung der Aufwärmzahl mit Feuchteausscheidung	98
10.4	Prüfstand und Messtechnik	103
10.5	Wandaufbauten des Modellraums gemäß <i>EnEV 2002</i> , Bauschwere S	104
10.6	TYPE 801 zur Berechnung der Einstrahlzahlen u. Strahlungstemperatur	105

10.7 Belastungsprofile	106
10.8 TYPE 780 zur Berechnung des erforderlichen Luftwechsels im Raum	114
10.9 TYPE 990 Wohnungslüftungsgerät mit Wärmeübertrager	115
10.10 Temperaturverlauf entlang des Strömungswegs	118
10.11 Nomogramme für die Druckabfallberechnung im Wärmerückgewinner	120