

# Nutzenübergabe thermoaktiver Decken

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

vorgelegt von

**Treiber Markus**

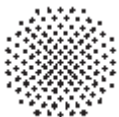
aus Regensburg

Hauptberichter:  
Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Mitberichter:  
Prof. Dr.-Ing. Heinz Bach

Tag der Einreichung:  
15.11.2006

Tag der mündlichen Prüfung:  
15.06.2007



Universität Stuttgart **IGE** Institut für GebäudeEnergetik

2007

## **Kurzfassung**

Zunehmend werden in neuen Gebäuden Bauteile aktiviert, um die vorhandenen Massen und Oberflächen thermisch zu nutzen. Da diese Übertragungssysteme für Heizung und Kühlung in den meisten Fällen nicht alle Nutzeranforderungen erfüllen, werden sie mit raumluftechnischen Anlagen kombiniert. Über das energetische Verhalten solcher Systemkombinationen ist bisher wenig bekannt.

Aus der Vielzahl möglicher Systemkombinationen werden unterschiedliche bauteilintegrierte Systeme und eine abgehängte Heizkühldecke betrachtet. Allen Kombinationen gemeinsam ist eine raumluftechnische Anlage. Der thermische Aufwand dieser Varianten wird mit der gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation berechnet und in Form von Aufwandszahlen für den Heiz- und Kühlfall dargestellt. Es wird aufgezeigt, dass die Masse der Systeme einen erheblichen Einfluss auf den Aufwand der Nutzenübergabe hat. Dabei sind die wenig oder gar nicht speichernden Übergabesysteme den stark speichernden deutlich überlegen. Bei den stark speichernden Systemen lässt sich der Aufwand reduzieren, wenn diese mit einem schnell reagierenden Zusatzsystem kombiniert werden und eine geeignete Betriebsführung sowie Regelstrategie zum Einsatz kommt.

Neben dem Einfluss der thermisch aktiven Flächen wird beim Einsatz von raumluftechnischen Anlagen durch die Wärmerückgewinnung ein deutliches Einsparpotenzial erschlossen. Im Idealfall deckt die Wärmerückgewinnung die Heizlast im Raum vollständig. Demgegenüber ist in unseren Breiten der Einfluss der Kälterückgewinnung nahezu unbedeutend. Dafür besteht bei intensiv genutzten Räumen ein erhebliches Kühlpotenzial zur Umgebungsluft. Dieses lässt sich entweder durch die Fensterlüftung oder eine raumweise geregelte Zulufttemperatur direkt nutzen.

Im Fall der bauteilintegrierten Systeme werden existierende Rechenmodelle eingesetzt, für abgehängte Heizkühldecken ein neues Rechenmodell entwickelt. Dabei werden sowohl die wesentlichen Konstruktionsmerkmale der Heizkühldecken als auch die Raumeigenschaften, der Strahlungsaustausch und die örtlichen Unterschiede beim konvektiven Wärmeübergang an der Deckenoberfläche berücksichtigt. Die Rechenmodelle werden mit Hilfe von Messergebnissen kalibriert.

## **Abstract**

There is an increasing use of activated building components, in order to use their thermal mass via their surfaces for thermal storages. Because these heating and cooling systems in many cases do not fulfil all user requirements, they are combined with air conditioning systems and other additional systems. There is only little known about the energetic behaviour of such combinations of systems.

From the huge number of possible systems various integrated solutions plus suspended heated and chilled ceilings are considered here. All solutions looked at, have an air conditioning system. The thermal effort is calculated by coupled building and system simulation and then drawn as effort numbers for heating and cooling. It will be shown that the storage mass of the systems influence significant the efforts of the benefit transfer. The transfer systems, which are storing a little or nothing, are superior to the powerful storing transfer systems. In case of the powerful storing systems the effort can be reduced by combination with a quickly reacting auxiliary as well as by use of an appropriate operation and control.

With the help of the heat recovery, an extensive saving potential for heating has been made available. In ideal case, the room heating load is covered completely by the heat recovery. In contrast, in our latitudes the influence of the cooling recovery is almost negligible. In rooms, which are intensively used exists a significant cooling capacity to the ambient air. This potential can be utilized directly by window ventilating or temperature-controlled inlet air.

For the integrated systems existing calculation models were applied, for the suspended heated and cooled ceiling a new model was developed. For that the design characteristics of the ceiling were considered as well as the behaviour of the space, the radiation in the space and the convective heat exchange at the surface of the ceiling. The model was calibrated on measured data, taken in an existing office space, which was equipped with extensive measuring devices.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Analyse und Handlungsbedarf</b> .....	<b>3</b>
2.1	Vorliegende Arbeiten zur Bedarfs- und Aufwandsberechnung .....	3
2.2	Handlungsbedarf .....	4
2.3	Rechenmodelle .....	6
2.3.1	Anwendungsprogramm .....	6
2.3.2	Gebäude.....	6
2.3.3	Wetter .....	7
2.3.4	Nutzeranforderungen.....	7
2.3.5	Stetiger PI-Regler .....	7
2.3.6	Bauteilintegrierte thermoaktive Decken.....	8
2.3.7	Abgehängte Heizkühldecke.....	9
2.4	Grundlagen zu abgehängten Heizkühldecken .....	9
<b>3</b>	<b>Bedarfsentwicklung</b> .....	<b>12</b>
3.1	Allgemeines.....	12
3.2	Referenzenergiebedarf der Nutzenübergabe .....	13
3.3	Energieaufwand im Heiz- und Kühlfall .....	16
3.3.1	Nutzenübergabe.....	16
3.3.2	Thermischer Aufwand der Verteilung und Erzeugung .....	17
<b>4</b>	<b>Modell der abgehängten Heizkühldecke</b> .....	<b>19</b>
4.1	Allgemeines.....	19
4.2	Deckenaufbau und Wärmebilanz .....	19
4.3	Widerstandsmodell der Heizkühldecke.....	23
4.4	Modell für die Speichereffekte der Decke .....	23
4.5	Modell für den Wärmeaustausch durch Strahlung.....	24
4.6	Wärmeleitung durch die Rohrwand .....	25
4.7	Kontaktwiderstand zwischen Rohr und Wärmeleitschiene.....	25
4.8	Temperaturverlauf und Wärmeabgabe der Rippe .....	27
4.9	Konvektion .....	28
4.9.1	Grundlagen für den Wärmeübergang durch Konvektion.....	28
4.9.2	Wärmeübergang zwischen Wasser und Rohr.....	29
4.9.3	Wärmeübergang durch Konvektion an der Deckenunterseite im Kühlfall	31
4.9.4	Wärmeübergang durch Konvektion an der Deckenunterseite im Heizfall.	35
4.9.5	Wärmeübergang durch Konvektion auf der Deckenoberseite .....	36
4.10	Flächenmodell der Heizkühldecke .....	36
4.11	Ersatzmodell im ausgeschalteten Zustand.....	36
4.12	Überprüfen des Heizkühldeckenmodells anhand von Messdaten.....	37
4.12.1	Prüfkabine im Kühlfall.....	38

4.12.2	Prüfkabine im Heizfall .....	40
4.12.3	Einfluss der Thermik auf die Leistungsabgabe der Heizkühldecke .....	43
<b>5</b>	<b>Anwendungsbeispiel.....</b>	<b>48</b>
5.1	Objektbeschreibung.....	48
5.2	Bürozone .....	49
5.2.1	Gebäudemodell.....	49
5.2.2	Nutzung in den Büros.....	50
5.2.3	Nutzenübergabe in den Büroräumen.....	52
5.2.4	Vergleichsrechnung für das Gesamtmodell der Bürozone.....	59
5.3	Seminarraum .....	60
5.3.1	Gebäudemodell.....	60
5.3.2	Nutzung im Seminarraum .....	60
5.3.3	Nutzenübergabe im Seminarraum .....	61
5.3.4	Vergleichsrechnung für das Gesamtmodell im Seminarraum.....	64
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Simulationsrechnungen .....</b>	<b>66</b>
6.1	Variantenstudie.....	66
6.2	Bürozone .....	67
6.2.1	Referenzenergiebedarf für Heizen und Kühlen.....	67
6.2.2	Wertebereich der Aufwandszahlen im Heizfall .....	69
6.2.3	Energieaufwand der Nutzenübergabe im Kühlfall.....	76
6.3	Seminarraum .....	78
6.3.1	Referenzenergiebedarf für Heizen und Kühlen.....	78
6.3.2	Energieaufwand der Nutzenübergabe im Heizfall .....	79
6.3.3	Energieaufwand der Nutzenübergabe im Kühlfall.....	80
6.4	Erkenntnisse .....	83
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>87</b>

## Literaturverzeichnis

## Anhang