

**Methode zur Berechnung und Bewertung des Energieaufwandes  
für die Nutzenübergabe bei Warmwasserheizanlagen**

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

vorgelegt von  
**Michael Bauer**  
aus Heubach

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. Bach

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E. h. mult. K.A. Gertis

Tag der Einreichung: 01.07.1998

Tag der mündlichen Prüfung: 22.06.1999

## **Kurzfassung**

Es wird eine Methode erarbeitet, mit der der Energieaufwand für die Nutzenübergabe bei Warmwasserheizanlagen berechnet und bewertet werden kann. Der Energieaufwand für die Nutzenübergabe wird mit einem Simulationsprogramm, mit dem Gebäude und Anlagen gekoppelt und modular abgebildet werden können, berechnet. An einem Beispielgebäude werden Variantenuntersuchungen für die verschiedenen Dämmstandards der Wärmeschutzverordnungen 1982 und 1995 und der Energiesparverordnung 2000 vorgenommen. Auf der Grundlage der Gebäudevarianten wird der Energieaufwand für die Nutzenübergabe mit verschiedenen Heizkörper- und Fußbodenheizsystemen berechnet. Bei den Heizkörperheizungen werden die Plattenheizkörper vom Typ 10, 11, 21, 22, 33, ein Röhrenradiator, ein Stahlradiator und ein DIN-Radiator untersucht. Bei der Fußbodenheizung kommen ein Naßsystem, ein Trockensystem und ein flächig durchflossenes System zum Einsatz. Für die Betriebsführung wird zwischen dem Betrieb ohne und mit Nachtabsenkung sowie einem Betrieb mit Schnellaufheizung unterschieden und bei der Raumregelung werden Thermostatventile sowie stetige und unstetige PI-Regler mit Hilfsmotor eingesetzt. Die Aufwandszahlen für die Nutzenübergabe werden über dem Jahresmittel der relativen Heizlast geordnet. Sie können für die Energiebedarfsberechnung, als wesentlichen Teil der Wirtschaftlichkeitsberechnung, in sehr frühen Planungsphasen eingesetzt werden und unterstützen somit eine auf Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit ausgerichtete Planung.

## **Abstract**

A method has been developed for calculating and evaluating the energy expenditure at the benefits delivery of warm water heating systems. Therefore a simulation program is used which takes into account the interaction of buildings and HVAC plants. For an example building many different variations regarding the insulation standards which are defined by German energy saving acts are investigated. Based on the building variations the energy expenditure for the benefits delivery of various radiator and floor heating systems is calculated. For radiator heating systems several types of plate and tube radiators are examined. In regard to the floor heating system a system with pipes inside the screed, a system with pipes below the screed and a plane section system are analysed. Regarding the operating strategy cases with and without night set back, as well as boost strategies are distinguished. The influence of room controllers is investigated on a thermostatic valve, as well as a steady and an unsteady PI-Controller. The expenditure numbers are arranged based on the yearly mean value of the relative heat load. They can be used in early design stages for computing the energy demand as the main aspect of the cost benefit analysis in order to assist a planning process which is orientated on energy savings and economics.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Literaturüberblick</b> .....	4
2.1	Verfahren zur Energiebedarfsberechnung und Betriebssimulation .....	4
2.1.1	„Stationäre“ Berechnungsverfahren .....	5
2.1.2	„Dynamische“ Berechnungsverfahren .....	6
2.2	Nutzenübergabe bei Heizanlagen .....	8
2.2.1	Nutzenübergabe bei Heizkörperheizungen .....	9
2.2.2	Nutzenübergabe bei Fußbodenheizungen .....	10
2.3	Konsequenzen für die vorliegende Arbeit .....	12
<b>3</b>	<b>Bedarfsentwicklung in beheizten Gebäuden</b> .....	14
3.1	Methode der Bedarfsentwicklung .....	14
3.2	Referenzenergiebedarf beheizter Gebäude $Q_{0,N}$ .....	16
3.2.1	Nutzung, Außenklima, Bauphysik .....	16
3.3	Energieaufwand für die Nutzenübergabe $Q_1$ .....	29
3.3.1	Nutzenübergabe .....	29
3.3.2	Nutzer .....	31
3.3.3	Zentrale Betriebsführung .....	35
3.3.4	Raumregelung .....	40
3.3.5	Heizsystem .....	47
3.3.6	Auslegungs- und Betriebsbedingungen .....	55
3.4	Energieaufwand für die Wärmeverteilung $Q_2$ .....	62
3.5	Energieaufwand für die Erzeugung $Q_3$ und die Heizanlage insgesamt ...	63
<b>4</b>	<b>Rechnerische Abbildung der Bedarfsentwicklung</b> .....	64
4.1	Betriebssimulation .....	64
4.2	Rechenmodelle für Gebäude und Nutzung .....	64
4.2.1	Gebäudemodell .....	64
4.2.2	Heizlastmodell (Ideale Heizung) .....	67

4.2.3	Nutzungsmodell .....	67
4.3	Modelle für die Regelung .....	69
4.3.1	Thermostatventil .....	69
4.3.2	Stetiger Regler mit Hilfsenergie .....	71
4.3.3	Unstetiger Regler mit Hilfsenergie .....	73
4.3.4	Modelle für die zentrale Betriebsführung .....	73
4.4	Heizflächen .....	74
4.4.1	Heizkörpermodell .....	74
4.4.2	Fußbodenheizung .....	75
<b>5</b>	<b>Beschreibung des Beispielobjekts</b> .....	<b>78</b>
5.1	Auswahl von Beispielobjekten .....	78
5.2	Gebäude und bauphysikalische Varianten .....	79
5.2.1	Abmessungen und Orientierung des Gebäudes .....	79
5.2.2	Wandaufbauten und Fensterflächen .....	81
5.2.3	Nutzung und Betriebssollvorgaben .....	83
5.3	Regelung .....	84
5.3.1	Zentrale Betriebsführung .....	84
5.3.2	Thermostatventil .....	85
5.3.3	Stetiger PI-Regler .....	86
5.3.4	Unstetiger PI-Regler .....	87
5.4	Heizflächen .....	87
5.4.1	Raumheizkörper .....	88
5.4.2	Fußbodenheizung .....	91
5.5	Zusammenstellung der Varianten .....	95
<b>6</b>	<b>Simulationsrechnungen und Diskussion der Ergebnisse</b> .....	<b>97</b>
6.1	Einfluß von baulicher und nutzungsbedingter Randbedingungen auf den Referenzenergiebedarf $Q_{0,N}$ und das Jahresmittel der relativen Heizlast $\beta_Q$ .....	97
6.1.1	Wärmeschutz .....	97
6.1.2	Masse der Bauteile .....	98
6.1.3	Fensterflächen .....	99

6.1.4	Nutzung	101
6.1.5	Einfluß des Jahresmittels der relativen Heizlast $\beta_Q$ auf den Energieaufwand	102
6.2	Energieaufwand für die Nutzenübergabe $Q_I$ bei Heizkörperheizungen	107
6.2.1	Überblick	107
6.2.2	Einfluß der Betriebsführung	109
6.2.3	Einfluß der Raumregelung	113
6.2.4	Einfluß der Heizkörpertypen	119
6.2.5	Einfluß der Auslegung	123
6.3	Energieaufwand für die Nutzenübergabe $Q_I$ bei Fußbodenheizungen	133
6.3.1	Überblick	133
6.3.2	Einfluß der Einbausituation	135
6.3.3	Einfluß der Betriebsführung	137
6.3.4	Einfluß der Raumregelung	140
6.3.5	Einfluß des Fußbodenheizungssystems	143
6.3.6	Einfluß des Bodenbelags	145
6.4	Vergleich zwischen Heizkörper- und Fußbodenheizung für EFH	147
<b>7</b>	<b>Vergleich Simulationen und experimentelle Untersuchungen</b>	<b>149</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>152</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>157</b>
	<b>Anhang</b>	<b>170</b>