

**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

IKE Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik

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 Nachtabenkung 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

1	Einleitung	1
2	Literaturüberblick	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
3	Bedarfsentwicklung in beheizten Gebäuden	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
4	Rechnerische Abbildung der Bedarfsentwicklung	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
5	Beschreibung des Beispielobjekts	78
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
6	Simulationsrechnungen und Diskussion der Ergebnisse	97
6.1	Einfluß von baulicher und nutzungsbedingter Randbedingungen auf den Referenzenergiebedarf $Q_{0,N}$ und das Jahresmittel der relativen Heizlast β_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 β_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
7	Vergleich Simulationen und experimentelle Untersuchungen	149
8	Zusammenfassung	152
9	Literaturverzeichnis	157
	Anhang	170