

# **Der Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Einzelheizgeräten**

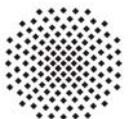
Von der Fakultät Energietechnik der Universität Stuttgart zur Erlangung der  
Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

**Jörg Dipper**

aus Schönaich

Hauptberichter:  
Prof. Dr.-Ing. Heinz Bach  
Mitberichter:  
Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt  
Tag der Einreichung:  
26.06.2002  
Tag der mündlichen Prüfung:  
05.12.2002



## **Kurzfassung**

In der vorliegenden Arbeit wird das energetische Verhalten von Einzelheizgeräten untersucht. Als Werkzeug wird die gekoppelte Simulation von Gebäude und Anlage eingesetzt, mit der Jahressimulationen durchgeführt werden. Beim Gebäudemodell werden dabei der Dämmstandard (ALTBAU, WSV95 und ESV), die Bauschwere (leicht und schwer) sowie der Fensterflächenanteil (20%, 40% und 60% Anteil an der Fassadenfläche) variiert. Die Nutzung wird über unterschiedliche Solltemperaturprofile und Innenlastprofile abgebildet. Für ein Elektrospeichergerät, ein elektrisches Direktheizgerät und einen Kachelofen wird der Energieaufwand der Nutzenübergabe berechnet.

Teilweise bestehende Rechenmodelle werden erweitert und durch Messungen kalibriert. Für das Direktheizgerät und den Kachelofen werden neue Rechenmodelle erstellt und die Ergebnisse mit Literaturwerten verglichen.

Ergebnis der Simulationsrechnungen ist die Gesamtaufwandszahl  $e_{\text{ges}}$ , die das Verhältnis von Aufwand des Heizsystems zum eigentlich nötigen Bedarf beschreibt. Es wird aufgezeigt, welchen Einfluss das Nutzerverhalten auf den Energieaufwand hat.

## **Abstract**

In this thesis the energetic behaviour of single heating devices is analysed. The combined simulation of building and heating systems is used as tool for the calculations. Within the simulations the building model is varied in regard to the standard of insulation, the massiness and the glazing fraction of the cladding.

The utilization is reproduced by different set point profiles of the room temperature and different profiles of the internal loads. The effort figures are calculated for an electrical storage heating system, an electrical direct heating device and a tiled stove. Mathematical models which exist already partially are extended and calibrated with measurements.

For the electrical direct heating device and the tiled stove new models are generated and compared with values from the literature.

The result of the calculations is the total effort figure  $e_{\text{ges}}$  which represents the ratio of effort to the reference requirement. It is shown how the energy effort depends on the behaviour of the occupants.

**Inhalt**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation .....	1
1.2	Wissenschaftliche Problemstellung .....	2
<b>2</b>	<b>Literaturüberblick</b> .....	<b>4</b>
2.1	Auswertung von Verbrauchsmessungen .....	4
2.2	Nutzenübergabe bei Warmwasserheizsystemen .....	4
2.3	Nutzenübergabe bei RLT-Anlagen .....	5
2.4	Seitherige Untersuchungen zur Nutzenübergabe von Einzelheizgeräten ..	5
<b>3</b>	<b>Bedarfsentwicklungsmethode</b> .....	<b>6</b>
3.1	Referenzenergiebedarf beheizter Gebäude $Q_{0,N}$ .....	7
3.2	Energieaufwand der Nutzenübergabe $Q_1$ .....	8
3.3	Gesamtenergieaufwand $Q_{ges}$ .....	9
3.4	Bedeutung der Aufwandszahl .....	10
<b>4</b>	<b>Rechenmodelle für die Simulationsrechnungen</b> .....	<b>13</b>
4.1	Betriebssimulation .....	13
4.1.1	Gebäudemodell .....	13
4.1.2	Nutzungsmodell .....	14
4.1.3	Referenz-Heizsystem .....	14
4.2	Modell für das elektrische Direktheizgerät mit Strahlungsanteil .....	15
4.2.1	Regelung des Direktheizgeräts mit Strahlungsanteil .....	19
4.3	Rechenmodell für das Elektrospeichergerät .....	19
4.3.1	Kennlinienmodell .....	20
4.3.2	Mathematisches Modell .....	20
4.3.3	Modell 1 für Elektrospeichergeräte .....	20
4.3.4	Modell 2 für Elektrospeichergeräte .....	21
4.3.5	Aufladeregelung .....	23
4.3.6	Auslegung der Speicherheizgeräte .....	24
4.3.7	Entladeregelung .....	24
4.4	Validierung des Rechenmodells für Elektrospeichergeräte .....	25
4.4.1	Betriebszustand I .....	25
4.4.2	Betriebszustand II .....	26
4.4.3	Vergleich Simulation / Messung .....	28
4.5	Rechenmodell für einen Kachelofen .....	36
4.5.1	Feuerungswärmeleistung .....	37
4.5.2	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	39
4.5.3	Ersatzschaubild des Kachelofens .....	40
4.5.4	Bedienung des Kachelofens .....	40

## II

<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Simulationsrechnungen</b>	<b>42</b>
5.1	Randbedingungen der Simulationsrechnungen	42
5.2	Nutzenübergabe des Direktheizsystems	42
5.2.1	Regelung mit stetigem PI-Regler	42
5.2.2	Regelung mit 2-Punkt-Regler	45
5.2.3	Einfluss der Betriebsführung (Solltemperaturprofil)	46
5.3	Nutzenübergabe bei Elektrospeichergeräten	47
5.3.1	Elektrospeichergerät Auslegung 8 + 0	48
5.3.2	Elektrospeichergerät Auslegung 5 + 4	50
5.3.3	Elektrospeichergerät mit optimierten Aufladeeinstellungen	53
5.4	Nutzenübergabe beim Kachelofen	54
5.4.1	2-stündliche Bedienung	55
5.4.2	9-stündliche Bedienung	56
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>62</b>
7.1	Innenlastprofile	62
7.2	Solltemperaturprofile	65
7.3	Ausgleichskurven	66
7.4	Testraum	68
7.4.1	Abmessungen	68
7.4.2	Wandaufbauten	68
7.4.3	Heizlast des Testraums	72
7.5	Heizpausen	73
7.6	Elektrospeichergerät Simulationsmodell	74
7.7	Versuchsstand zur Kalibrierung des Simulationsmodells	75
7.7.1	Versuchsaufbau	75
7.7.2	Dichtheitsprüfung des Versuchstands	77
7.7.3	k*A-Wert des Versuchstands	78
7.7.4	Vorversuch mit Direktheizgerät	80
7.7.5	Aufnahmen vom Versuchstand	82
7.7.6	Luftgeschwindigkeit im Zuluftkanal	84
7.7.7	Oberflächentemperaturmessung	84
7.8	Weitere Versuche zum Vergleich Simulation - Messung des ESP	90
7.9	Geräteparameter des Elektrospeichergerätes	94
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>95</b>