

Aktuelle Studie des BVF mit detaillierter Kostenanalyse

Sind Fußbodenheizungen teurer als Radiatorsysteme?

Joachim Plate*

Die Studie „Aktuelle Kostenanalyse von Fußboden- und Radiatorheizungssystemen“ vom Bundesverband Flächenheizungen (BVF) basiert vor allem auf 39 Angebote von Heizungsbaubetrieben aus fünf verschiedenen Regionen Deutschlands. Die Auswertung dieser Angebote förderte einige sehr interessante und zum Teil verblüffende Ergebnisse und Zusammenhänge zu Tage.

Bei Einfamilienhäusern werden Heizungssysteme im Neubaubereich bereits zu fast 50 % als Fußbodenheizungen ausgeführt [1]. Dabei werden die Kosten für Fußbodenheizungen im Vergleich zur Beheizung mit (Radiatoren oder Platten-) Heizkörpern von unterschiedlichen Stellen verschieden bewertet. Mit einer Studie, die der Bundesverband Flächenheizungen e. V. (BVF) beim Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e. V. (IEMB) an der TU Berlin in

Auftrag gegeben hat, ist eine unabhängige und belastbare Basis für eine aktuelle Kostendiskussion geschaffen worden. Anhand eines Beispielgebäudes ist für den Einsatz von Fußbodenheizungen mit Heizrohren und von Heizkörpern (Radiatoren oder Plattenheizkörpern) ein Kosten-Vergleich durchgeführt worden, der Investitions- und Verbrauchskosten berücksichtigt. Die Ermittlung der Investitionskosten erfolgte auf Basis eines baulichen Wärmeschutzes entsprechend der gültigen Wärmeschutzverordnung (WSchV). Für die Bestimmung der Verbrauchskosten wurde das im Zusammenhang mit der geplanten Energieeinsparverordnung (EnEV) zu erwartende Regelwerk zugrunde gelegt. Auswirkungen der geplanten EnEV wurden qualitativ diskutiert. Im folgenden wird der Begriff „Radiatorheizung“ synonym für die Wärmeübergabe durch Heizkörper, d. h. durch Radiatoren oder Plattenheizkörper, verwendet.

Datenbasis und Literaturrecherche

Die Bearbeitung erfolgte anhand eines Beispielgebäudes. Für das zu betrachtende Einfamilienhaus wurde ein baulicher Wärmeschutz entsprechend WSchV '95 zugrunde gelegt. Grundlage für die Untersuchung der Investitionen waren einzuholende Angebote. Die der Ausschreibung zugrundeliegende Planung erfolgte über den BVF. Die verbrauchsgebundenen Kosten wurden über die Berechnung des Jahres-Heizenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 unter Zugrundelegung mittlerer Energiepreise ermittelt. Die Ermittlung der Anlagenverluste erfolgte auf Basis der DIN V 4701-10.

Die Auswertung des Synergiehausprojektes [2] bestätigt, daß in fast der Hälfte der neugebauten Ein- und Zweifamilienhäuser eine Fußbodenheizung zum Einsatz kommt. Die Kosten für eine Flächenheizung werden in

der Literatur unterschiedlich bewertet. In einer Veröffentlichung von 1990 [3] wird für ein Sechsfamilienhaus als Beispielgebäude festgestellt, daß die Investitionskosten für die Fußbodenheizung etwa denen für die Zweirohr-Radiatorheizung mit Auslegungstemperaturen von 60 °C/50 °C entsprachen, während die Einrohrheizung und die Radiatorheizung mit Auslegungstemperaturen von 90 °C/70 °C kostengünstiger waren. In einem Artikel von 1996 heißt es [4]: „Hohe Installationskosten (für die Fußbodenheizung) gehören der Vergangenheit an. Das arbeitsaufwendige Biegen und Zusammenschweißen von Stahlrohren wurde durch das zeitsparende Verlegen von flexiblen Endlos-Kunststoffrohren abgelöst.“ An anderer Stelle [5] wird 2000 angegeben, daß eine Flächenheizung teurer als eine herkömmliche Heizung mit Heizkörpern ist und die Einbaukosten um 20 bis 25 % höher liegen. Der Betrieb sei jedoch günstiger, da ein Niedertemperatursystem ausreicht und die Raumlufttemperatur um 1 bis 2 K wärmer empfunden wird. Für 20 m² Fußbodenheizung werden Kosten von 1600 bis 2000 DM inklusive Thermostatregelung und Hausanschluß angegeben. In der Literatur wird für die Fußbodenheizung ein etwas geringerer bzw. gleich großer Heizenergie-Bedarf bzw. -verbrauch im Vergleich zur Radiatorheizung ausgewiesen. In [6] werden verschiedene Untersuchungen zitiert, die der Fußbodenheizung



* Dipl.-Ing. Joachim Plate, Bundesverband Flächenheizungen (BVF) e. V., 58095 Hagen, Telefon (0 23 31) 20 08 50, Telefax (0 23 31) 20 08 17, Internet: www.flaechenheizung.de

Bauteil		Fläche m ²	k-Wert W/m ² K
Kellerdecke		90,09	0,27
Fußboden auf Erdreich		16,86	0,27
Wand gegen Keller		49,46	0,52
Tür gegen Keller		8,89	2,00
Wand gegen Erdreich		5,77	0,39
Decke Vorbau		4,57	0,25
Decke zum Spitzboden		56,35	0,25
Dach		73,19	0,25
Wand	N	33,17	0,45
	O	38,63	0,45
	S	27,00	0,45
	W	42,52	0,45
Wand gegen unbeheizt	N	2,78	0,45
Fenster	N	5,36	1,50
	O	11,13	1,50
	S	19,27	1,50
	W	7,25	1,50
Tür	N	2,93	2,00
Tür gegen unbeheizt	N	2,03	2,00
Volumen in m ³		578	
A/V _e in m ⁻¹		0,86	

Tabelle 1 Auslegung des baulichen Wärmeschutzes für das Beispielgebäude zur Einhaltung der WSchV

einen wärmephysiologisch bedingten energetischen Vorteil zuschreiben von: 0–3 % (meßtechnische Untersuchung im Labor) [7], 1–2 % (Modellbetrachtungen) [8] bzw. 0–1 % (theoretische Untersuchung) [9]. Im Ergebnis einer experimentellen Untersuchung konstatiert [10] für den instationären Betrieb (Raumtemperaturregelung mit Fremdwärmeeinwirkung und Heizunterbrechung) keinen Unterschied im Wärmeverbrauch von Fußboden- und Radiatorheizung.

LVs und Einholung der Angebote

Die Heizlastberechnung und die darauf basierenden Leistungsverzeichnisse (LVs) für die Fußbodenheizung und die Radiatorheizung wurden vom Auftraggeber bereitgestellt. Gemischte Systeme wurden nicht betrachtet. Tabelle 1 zeigt die Auslegung des baulichen Wärmeschutzes des Beispielgebäudes. Die Leistungsverzeichnisse basieren auf einem freistehenden Einfamilien-

In der Gewiplan-Studie von 1985 [11] zeigte sich, daß in allen 18 untersuchten Fällen das Verhältnis Wärmebedarf zu Brennstoffaufwand bei Fußbodenheizungen günstiger war. Die Unterschiede für die Vergleichsfälle schwankten zwischen 3 % und 33 %, bei Ölheizungen traten die größten Abweichungen auf. In Stufe 2 der Untersuchung [12] wurde 1987 das Ergebnis bestätigt, allerdings fielen bei den 25 untersuchten Vergleichsfällen die Unterschiede nicht so extrem aus: im Mittel lagen Fußbodenheizungen 4 % günstiger als Radiatorheizungen.

In einer neuen Studie [13] untersucht Richter den Energiebedarf verschiedener Heizungssysteme mit unterschiedlichen Berechnungsmethoden: – vereinfachte Simulation mit vollständig durchmischter Raumluft und – gekoppelte Simulation unter Berücksichtigung des Raumströmungsverlaufes. Die Unterschiede der Mittelwerte für den Energiebedarf sind nach Richter praktisch vernachlässigbar.



Bild 1 Schematischer Deckenaufbau der Geschoßdecke mit Fußbodenheizung (im LV nicht enthalten: Estrich)



Bild 2 Schematischer Deckenaufbau der Kellerdecke mit Fußbodenheizung (im LV nicht enthalten: Estrich, über 2 cm hinausgehende Zusatzwärmedämmung)

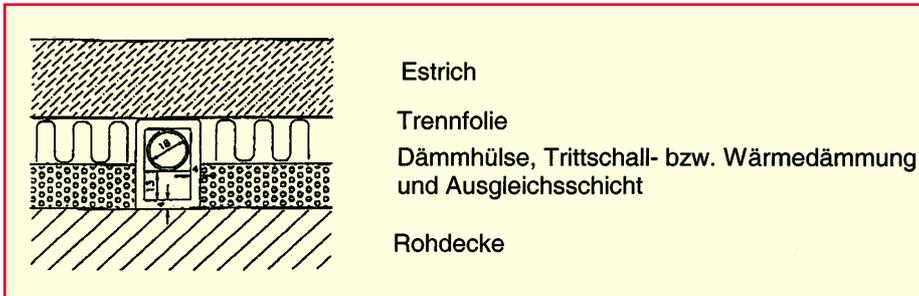


Bild 3 Schematischer Deckenaufbau der Geschoßdecke mit Radiatorheizung (im LV nicht enthalten: Estrich, Trennfolie, Trittschalldämmung, Ausgleichsschicht)

haus als Beispielgebäude. Für die Wärmeübergabesysteme wurden in den LVs folgende Daten zugrundegelegt (Bilder 1 bis 3 zeigen den schematischen Aufbau der Geschoßdecken):

■ Fußbodenheizung: max. Vorlauf-/Rücklauf-temperatur 35 °C/28 °C, Einzelraumtemperaturregelung, Systemplatte, Randdämmstreifen, Estrichzusatzmittel, Zusatzwärmedämmung 20 mm im Erdgeschoß.

■ Radiatorheizung: max. Vorlauf-/ Rücklauf-temperatur 55 °C/45 °C, Profil-Ventilheizkörper, Einzelraumregelung durch Thermostatventile, 2-Rohr-Heizungssystem, etagenweise Verteilung über Ringleitung, Cu-Installationsrohr, Verlegung auf der Rohdecke mit Dämmhülsen.

Folgende Angebote wurden jeweils aus den fünf Regionen Dresden, Hamburg, München, Ruhrgebiet und Stuttgart eingeholt:

- je zwei Angebote für die Fußbodenheizung,
- je zwei Angebote für die Radiatorheizung,
- je zwei Angebote für die Fußboden- und die Radiatorheizung.

Die Heizungsbaubetriebe wurden nach dem Zufallsprinzip aus einer größeren Liste ausgewählt und telefonisch angesprochen. Für die Angebotserstellung erhielten die Betriebe eine Aufwandsentschädigung. Die Angebote wurden im Zeitraum November 2000 bis Januar 2001 eingeholt.

Auswertung der Angebote

Die Angebote der ausführenden Firmen enthielten jeweils das Wärmeverteilungs- und -übergabesystem für eine Fußboden- bzw. eine Radiatorheizung. Weil sie sich allerdings auf unterschiedliche Systemgrenzen bei der Wärme- und Trittschalldämmung beziehen, sind sie nicht direkt vergleichbar (siehe Tabelle 2).

Verrechnung von Zusatzkosten

Für den Aufbau einer Fußbodenheizung ist eine um 2 cm größere Estrichdicke erforderlich. Die Kosten dafür wurden den Angeboten hinzugerechnet. Das im LV enthaltene Estrichzusatzmittel ist in den Kosten für die Fußbodenheizung enthalten. Außerdem berücksichtigen die Angebote für die Fußbodenheizung die in den Systemplatten enthaltene Dämmschicht von 30 mm. Diese wirkt sowohl als Wärme- als auch als Trittschalldämmung. Im EG über dem unbeheizten Keller ist die Funktion Wärmedämmung wesentlich. Die notwendige Gesamtdämmschichtdicke beträgt allerdings bei beiden Wärmeübergabesystemen mehr als 30 mm. Zum Vergleich werden daher den Angeboten für die Radiatorheizung nur Materialkosten für 30 mm Dämmmaterial hinzugerechnet.

Im OG ist die Trittschallverbesserung maßgeblich. Das Trittschallverbesserungsmaß von Fußbodenheizungs-Systemplatten beträgt auf Vollbetondecken üblicherweise 26 dB. Um eine gleichwertige Trittschalldämmung ohne Fußbodenheizung zu erreichen, wird die Ausgleichsschicht neben den Dämmhülsen als Trittschalldämmung ausgeführt. Eine zusätzliche Trittschalldämmung über der Dämmhülse ist nicht notwendig. Diese Kosten werden bei der Radiatorheizung hinzugerechnet. Die Kosten für die auf der Decke zum Keller eingebaute Zusatzdämmung von 20 mm bei der Fußbodenheizung werden bei der Radiatorheizung nicht hinzugerechnet. Damit wird berücksichtigt, daß entsprechend WSchV bei Einsatz einer Fußbodenheizung der Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerdecke $k \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ betragen muß. Im Vergleich dazu ist ohne Fußbodenheizung nach dem Gesamtgebäude-Bilanzierungsverfahren der WSchV auch ein größerer Wärmedurchgangskoeffizient (d. h. eine geringere Dämmschichtdicke) der Kellerdecke zulässig.

Folgende Preise wurden ermittelt:

– Fußbodenheizung:
Zusatzkosten von 3 DM/m² durch Erhöhung der Estrichdicke um 20 mm: [14]

– Radiatorheizung:

EG: Wärmedämmungsanteil (im Fußbodenheizungsangebot bereits enthalten): Polystyrol, Dicke $d = 30 \text{ mm}$, Zusatzkosten 6 DM/m² [14] sowie Trennfolie PE-Folie, $d = 0,2 \text{ mm}$ zwischen Dämmung und Estrich, Zusatzkosten 2,27 DM/m² [15]

OG: Trittschalldämmungseinbau (im Fußbodenheizungsangebot bereits enthalten) inkl. notwendiger Ausgleichsschicht (Polystyrol PST, Dicke $d = 43/40 \text{ mm}$): Zusatzkosten von 14,98 DM/m² [16] sowie Trennfolie zwischen Dämmung und Naßestrich, Zusatzkosten 2,27 DM/m² [15]

Heizenergiebedarf und Verbrauchskosten

Die Berechnung des zu erwartenden Jahres-Heizenergiebedarfs erfolgt nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10. Für die Anlagentechnik wurden folgende Kosten (inkl. 16 % MwSt.) angesetzt:

– Einsatz einer Brennwerttherme mit WW-Bereitung mit Aufstellung und Verteilung

	Fußbodenheizung	Radiatorheizung
Wärmedämmung Erdgeschoss 92 m ²	3 cm + 2 cm	–
Trittschalldämmung Obergeschoss 81 m ²	Trittschallverbesserungsmaß 26 dB	–

Tabelle 2 Wärme- und Trittschalldämmung in den Angeboten

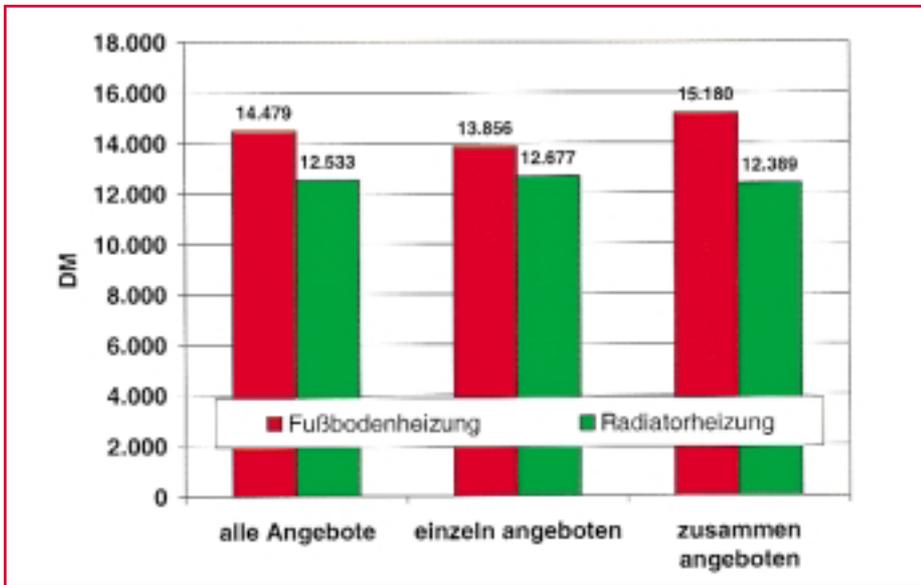


Bild 4 Einfluß der Art der Angebotsabgabe auf den Preis – unterschiedliche Systemgrenzen

innerhalb der beheizten Hülle; max. Vor- und Rücklauftemperaturen: Fußbodenheizung 35 °C/28 °C, Radiatorheizung 55 °C/45 °C, Regelabweichung bei der Wärmeübergabe 2 K.

– Für beide Normen liegen die Endfassungen vor. Für die drei betrachteten Systeme werden die jährlichen Energieverbrauchs-kosten auf Basis der Energiebedarfsberechnung ausgewiesen. Als spezifische Verbrauchskosten wurden angesetzt: Gas: 0,09 DM/kWh, Elektroenergie (als Hilfsenergie Normaltarif): 0,24 DM/kWh.

Teilweise große Angebots-Differenzen

Die Angebote wurden so eingeholt, daß die Firmen zum Teil nur ein Angebot – für Fußboden- oder Radiatorheizung – und zum

Teil beide Angebote gleichzeitig abgaben. Aus Bild 4 ist ersichtlich, daß die Art der Angebotsabgabe von großem Einfluß ist:

■ Werden die Angebote unabhängig voneinander abgegeben, liegt die Fußbodenheizung im Mittel nur noch ca. 1200 DM über der Radiatorheizung. Gibt eine Firma beide Angebote ab, sozusagen in Konkurrenz zu sich selbst, so beträgt die Differenz im Mittel fast 2800 DM und im Einzelfall sogar bis zu 6000 DM. Bei der Radiatorheizung ist keine deutliche Abhängigkeit von der Art der Angebotsabgabe zu sehen.

■ In der Einzeldarstellung der Angebote wird sichtbar, daß sich bei gemeinsamer Angebotserstellung die Differenzen zwischen Fußboden- und Radiatorheizung zwei Gruppen zuordnen lassen: Differenzen bis zu 2000 DM und Differenzen von 5000 DM bis 6000 DM (siehe Bild 5). Einzeln ange-

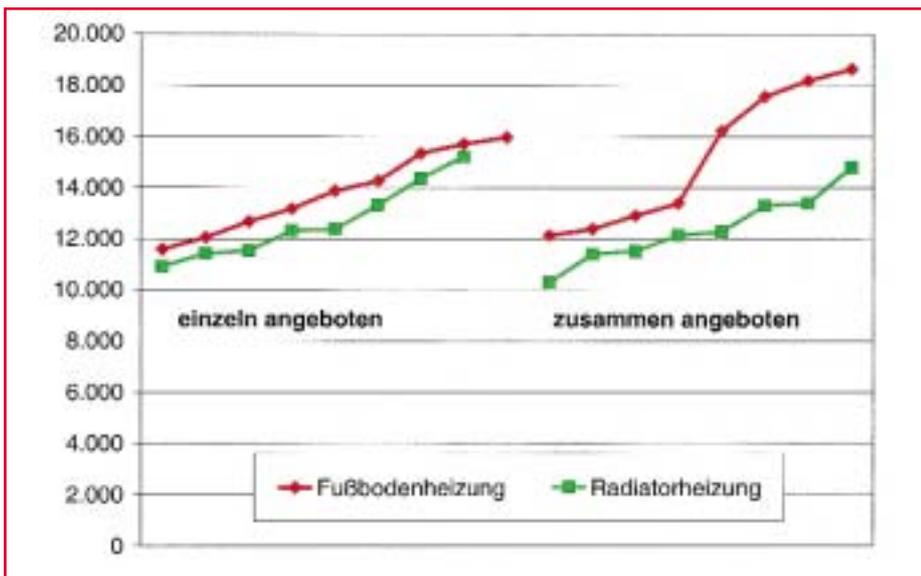


Bild 5 Preise der einzelnen Angebote

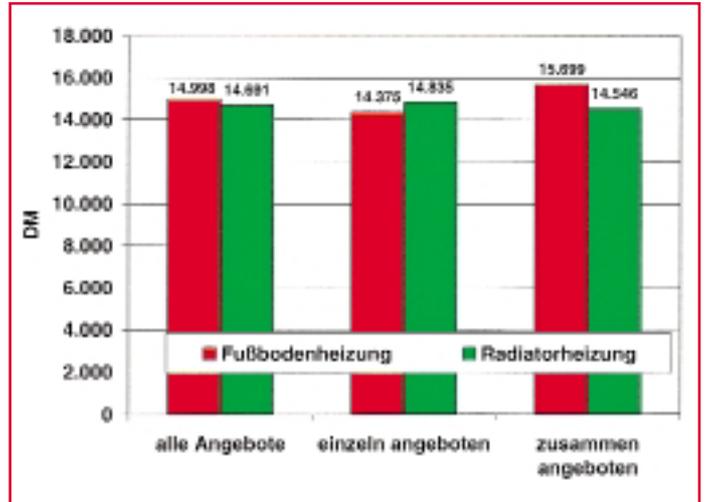
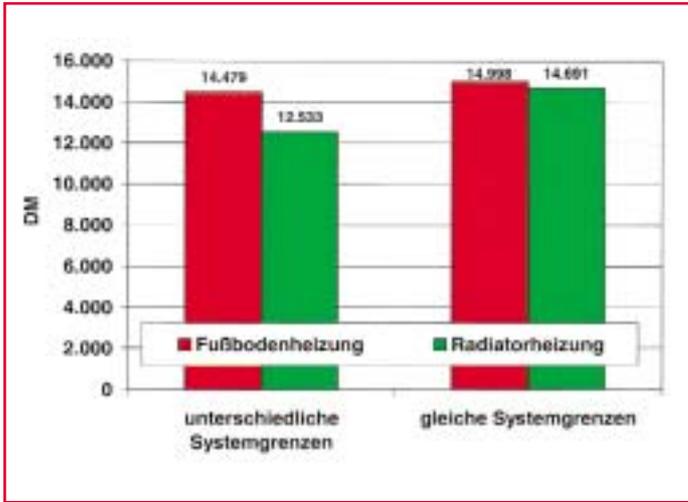


Bild 6 Mittlere Angebotspreise: Angebote wie abgegeben (unterschiedliche Systemgrenzen) und Einrechnung gleicher Randbedingungen für Wärme- und Trittschalldämmung (gleiche Systemgrenzen)

Bild 7 Einfluß der Art der Angebotsabgabe auf den Preis – gleiche Systemgrenzen

boten kann dagegen das Angebot für die Fußbodenheizung durchaus unter dem Angebot für die Radiatorheizung liegen.

■ In Bild 6 ist ersichtlich, wie sich die Mittelwerte durch die Berücksichtigung gleicher Systemgrenzen verschieben. Die Wärme- bzw. Trittschalldämmung und die Estrichdicke sind jetzt gleichwertig. Die Fußbodenheizung ist im Mittel nur noch ca. 300 DM teurer als die Radiatorheizung.

■ Wird der Vergleich nach Art des Angebotes mit gleichen Systemgrenzen durchgeführt, so ergeben sich bei getrennter Abgabe der Angebote sogar etwas geringere Kosten für die Fußbodenheizung (siehe Bild 7).

Energiebedarf und Verbrauchskosten

Das Beispielgebäude wurde so ausgelegt, daß der bauliche Wärmeschutz die Anforderungen der WSchV 95 erfüllt (Tabelle 1). Die Berechnung nach DIN V 4108-6 (Heizperiodenbilanz entsprechend EnEV) ergibt aus methodischen Gründen einen geringfügig niedrigeren Heizwärmebedarf als die Berechnung nach WSchV. In diesem Ergebnis ist berücksichtigt, daß die Anschlüsse wärmebrückenarm entsprechend DIN 4108 Beiblatt 2 zu planen sind. Ausgehend von einem Jahresheizwärmebedarf

entsprechend DIN V 4108-6 von $Q_h = 85,23 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ wird der Jahres-Heizenergiebedarf entsprechend DIN V 4701-10 bestimmt. Durch die geringere Vorlauf- und Rücklauftemperatur bei der Fußbodenheizung im Vergleich zur Radiatorheizung entstehen zum einen weniger Verteilverluste. Zum anderen ist der Kesselnutzungsgrad etwas höher bzw. die Aufwandszahl geringer (Tabelle 3). Die Übergabeverluste werden durch DIN V 4701-10 für beide Systeme bei gleicher Regelabweichung gleich bewertet. Damit weist das System Fußbodenheizung einen um ca. 4 % geringeren rechnerischen Endenergiebedarf auf als die Radiatorheizung (Bild 8). Demgegenüber steht ein höherer Hilfsenergiebedarf durch eine größere Pumpenleistung bei der Fußbodenheizung (Tabelle 3).

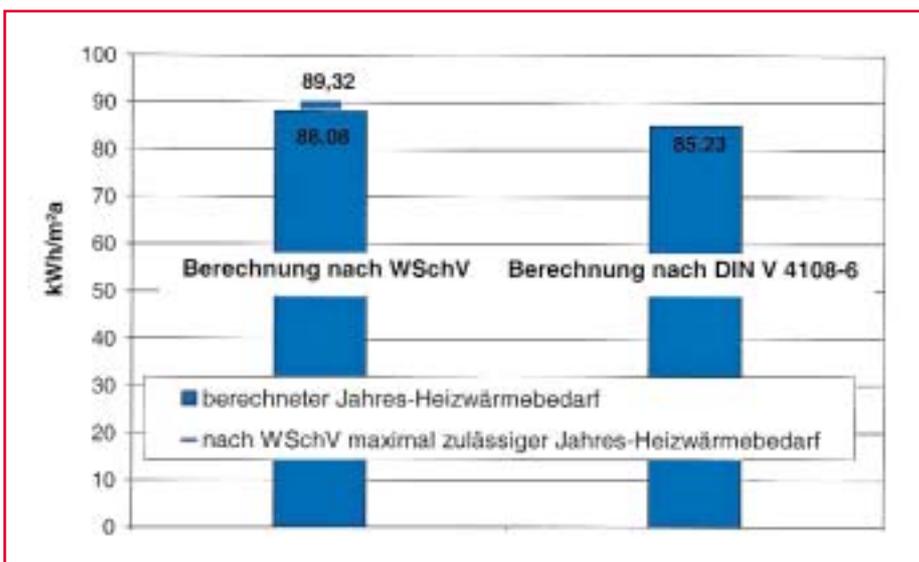


Bild 8 Jahresheizwärmebedarf entsprechend WSchV und DIN V 4108-6 bzw. EnEV

	Fußboden- heizung	Radiator- heizung
	kWh/m ² a	kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	85,23	85,23
Übergabeverluste	3,30	3,30
Verteilverluste	0,55	1,67
Summe Heizarbeit	89,09	90,21
Erzeuger-Aufwandszahl	0,99	1,01
Endenergie	87,90	91,30
el. Hilfsenergie	2,60	1,73

**Tabelle 3 End- und Hilfs-Energiebedarf für Fußboden- und Radia-
torheizung**

Die rechnerischen Energie-Bedarfskosten für die Fußbodenheizung liegen unter Berücksichtigung der elektrischen Hilfsenergie ca. 1 % unter den Bedarfskosten bei Einsatz der Radiatorheizung (Tabelle 4). Mittleren Investitionsmehrkosten von ca. 300 DM stehen damit jährliche Energie-Minderkosten von ca. 20 DM gegenüber.

Das Ergebnis der Auswertung von 39 Angeboten aus fünf verschiedenen Regionen und weiterführenden Untersuchungen läßt sich für das Beispielgebäude wie folgt zusammenfassen:

schied bei Angebotsabgabe durch verschiedene Firmen sowie bei gleichzeitiger Angebotsabgabe durch dieselbe Firma festgestellt.

■ Bei Angebotsabgabe durch verschiedene Firmen weist die Fußbodenheizung im Vergleich zur Radiatorheizung im Mittel ca. 500 DM geringere Kosten auf.

■ Werden beide Systeme durch dieselbe Firma angeboten, liegen die Kosten der Fußbodenheizung im Mittel ca. 1300 DM über denen der Radiatorheizung.

■ Regionale Preisunterschiede konnten mit Ausnahme der Region Dresden nicht er-

■ LVs und damit Angebote für verschiedene Heizungsanlagen beinhalten unterschiedliche Systemgrenzen in bezug auf Wärme- und Trittschalldämmung. Fußbodenheizungs-Systemplatten beinhalten z. B. bereits ein Trittschallverbesserungsmaß von ca. 26 dB. Für die Auswertung wurde für beide Systeme eine gleichwertige Wärme- und Trittschalldämmung zugrunde gelegt

■ Für die Kosten der Fußboden- im Vergleich zur Radiatorheizung wurde ein deutlicher Unter-

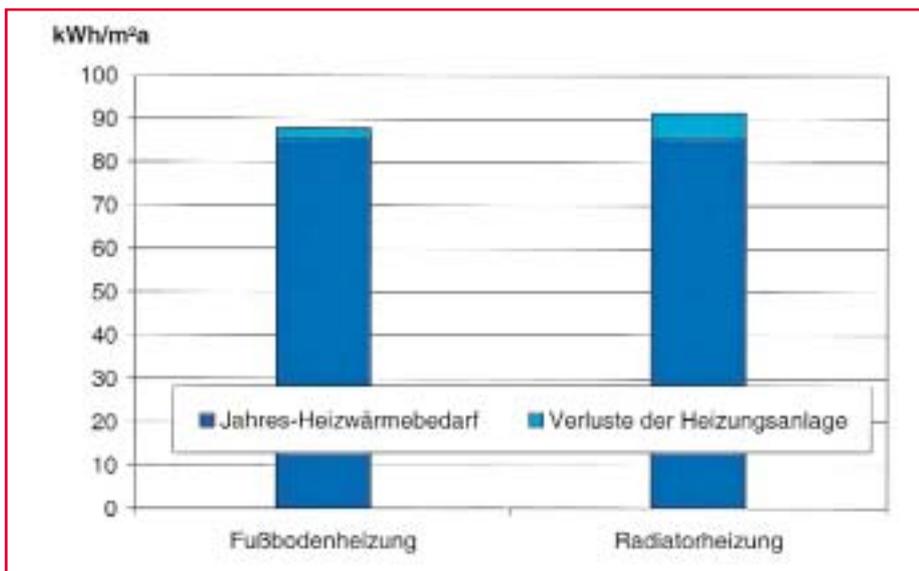


Bild 9 Endenergiebedarf als Summe von Jahres-Heizwärmebedarf und Verlusten der Anlagentechnik

	Fußboden- heizung	Radiator- heizung
Endenergie in kWh/m ² a	87,90	91,30
Endenergie in kWh/a	16 261	16 890
Gaspreis in DM/kWh	0,09	0,09
Energiekosten in DM/a	1463	1520
el. Hilfsenergie in kWh/m ² a	2,60	1,73
el. Hilfsenergie in kWh/a	481	319
Kosten el. Hilfsenergie in DM/a	115	77
Summe Kosten in DM/a	1579	1597
Investitionskosten in DM	14 998	14 530
Mehrkosten Investition in DM	468	
jährliche Energie-Minderkosten in DM/a	18	

Tabelle 4 Investitions- und Verbrauchskosten für die Fußboden- und Radiatorheizung

mittelt werden. Dort lagen alle abgegebenen Angebote unter dem Mittelwert aller Angebote.

■ Die Angebotspreise weisen eine große Streuung auf. Ohne Berücksichtigung von Ausreißern lag das höchste Angebot für die Fußbodenheizung ca. 60 % über den niedrigsten und das höchste Angebot für die Radiatorheizung ca. 45 % über dem niedrigsten.

■ Die große Streuung der Angebotspreise findet sich in allen Regionen. Im Einzelfall können die Kosten für die Fußbodenheizung durchaus ca. 2000 DM unter, aber auch über den Kosten für die Radiatorheizung liegen.

■ Der rechnerische Jahres-Heizenergiebedarf des Beispielgebäudes liegt bei Einsatz einer Fußbodenheizung ca. 4 % unter dem berechneten Bedarf einer Radiatorheizung. Demgegenüber besteht bei der Fußbodenheizung nach EnEV ein höherer Hilfsenergiebedarf. Die rechnerischen Energie-Bedarfskosten für die Fußbodenheizung liegen unter Berücksichtigung der elektrischen Hilfsenergie ca. 1 % unter den Bedarfskosten bei Einsatz der Radiatorheizung.

Mit Nachweis nach EnEV hat die Fußbodenheizung einen geringfügigen energetischen Vorteil. Die rechnerischen jährlichen Energie-Bedarfskosten sind für die Fußbodenheizung und für die Radiatorheizung praktisch gleich.

Die Quantifizierung der systembedingten Vorteile der Fußbodenheizung, wie z. B. Raumgewinn durch Wegfall der Radiatoren, niedrigere Raumlufttemperatur bei gleicher thermischer Behaglichkeit und gleichmäßiges Temperaturprofil, waren nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Literatur

- [1] Angabe des Bundesverbandes Flächenheizungen e.V. (BVF)
- [2] Das SynergieHaus-Projekt der PreussenElektra mit Partnern – Energetische Analyse und Bewertung – Abschlußbericht, Uni-GH Kassel, Dez. 1999
- [3] Heizkörper oder Fußbodenheizung – Vergleich unterschiedlicher Systeme. SBZ 5/1990, S. 336 ff.
- [4] Fellingner, Herbert: Wärme, die aus dem Boden kommt. IKZ-Haustechnik 6/1996, S. 57ff.
- [5] Südwestrundfunk Infomarkt, Internet: www.suedwest3.de/infomarkt/lexikon/1999/beitrag/t_wandheizung.html
- [6] Fohry, Roland: Helfen Warmwasser-Fußbodenheizungen Energie sparen? Stadt- und Gebäudetechnik 43 (1989) S. 172–174
- [7] Olesen, B.W.: Energieverbrauch und thermischer Komfort in einem durch unterschiedliche Methoden erwärmten Raum. 2. Internationaler Velta-Kongreß 1980, St. Christoph, Tirol

- [8] Erhorn, H., Szerman, M., Gertis, K.: Wie beeinflusst die Heizflächenanordnung im Raum die thermische Behaglichkeit und den Wärmeverlust? Bauphysik 1986, H. 5, S. 146–153
- [9] Glück, B.: Heizenergiebedarf im Wohnungs- und Gesellschaftsbau in Abhängigkeit vom Heizungssystem. Stadt- und Gebäudetechnik 42 (1988) 1, S. 7–11
- [10] Zöllner, G.: Wärmetechnisches Verhalten von Fußbodenheizungen. Wärmetechnik 33/1988, S. 257 ff.
- [11] Gewiplan: Flächenheizungen – Analyse der Auswirkungen auf den Energieverbrauch Stufe 1, Frankfurt am Main 1985
- [12] Gewiplan: Flächenheizungen – Analyse der Auswirkungen auf den Energieverbrauch Stufe 2, Frankfurt am Main 1987
- [13] Richter, W.: Zu den Konsequenzen der Niedrigenergiebauweise auf die Wärmeübergabe im Raum bei verschiedenen Heizungssystemen, in: Bewertung von kostengünstigen anlagentechnischen Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand. Abschlußbericht. Dresden, Januar 1999
- [14] Schmitz, Heinz; Gerlach, Reinhard; Meisel, Ulli: Baukosten 2000, Band 2, Preiswerter Neubau von Ein- und Zweifamilienhäusern, Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen, Essen 1999
- [15] Mittag, Martin: Kostenplanung mit Bauelementen nach DIN 276. Weka Baufachverlage GmbH, 1999
- [16] Material- u. Arbeitspreis: Baustoffhandel

Normen und Richtlinien

- Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 16. 08. 1994 (BGBl. I S. 2121)
- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) – Referentenentwurf vom 29. 11. 00
- DIN V 4108-6: 2000-11 (Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizenergiebedarfs)
- DIN 4108 Beiblatt 2: 1998-08 (Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele)
- DIN V 4701-10: 2001-02 (Energetische Bewertung von heiz- und raumluftechnischen Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung)