

Infrarot-Heizungen

Gutachten über die thermische Behaglichkeit in Wohnräumen hinsichtlich elektrischer Heizflächen

November 2006

Prof. Dr.-Ing. Bruno Gräff

- Dieser Bericht umfasst 21 Seiten -

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Aufgabenstellung.....	5
3	Aufbau der elektrischen Heizflächen	6
3.1	Heizbild	6
3.2	Keramikheizung.....	6
3.3	Keramik-Standheizung	7
3.4	Heizspiegel.....	7
4	Begriffe und Definitionen	8
4.1	Thermische Behaglichkeit	8
4.2	Raumtemperatur	8
4.3	Strahlungstemperatur.....	9
4.4	Strahlungstemperaturasymmetrie	10
5	Ergebnisse der Untersuchung	11
5.1	Leistungsabgabe und Oberflächentemperatur	11
5.2	Aufheizverhalten.....	11
5.3	Abschätzung des Emissionsgrades der Oberfläche	12
5.4	Abschätzung des Infrarot-Strahlungsanteils.....	13
6	Strahlungstemperaturasymmetrie	14
6.1	Modellraum für die Strahlungsasymmetrieberechnung	14
6.2	Ergebnisse der Strahlungsasymmetrieberechnung.....	16
6.3	Auswertung der Strahlungsasymmetrieberechnung.....	17
7	Schlussbetrachtung	19
	Literatur	21

Formelzeichen und Abkürzungen

a	Länge	[m]
b	Breite	[m]
h	Höhe	[m]
H	Höhe	[m]
\dot{q}	Wärmestromdichte	[W/m ²]
\dot{Q}	Wärmestrom	[W]
t	Temperatur	[°C]
Tu	Turbulenzgrad	[%]
V	Volumen	[m ³]
z	Höhe	[m]
φ	Einstrahlzahl	[-]

R	Raum
RL	Raumluft
S	Strahlung
U	Umgebung

1 Zusammenfassung

Die elektrischen Heizflächen (Heizbild, Keramikheizung, Keramik-Strandheizung, Heizspiegel) stellen ein alternatives Heizsystem dar. Sie geben die Wärme bis zu 50% durch Infrarot-Strahlung ab und sorgen dadurch für ein behagliches Raumklima. (Zum Vergleich: Heute übliche Fächerheizkörper besitzen einen Infrarot-Strahlungsanteil im Mittel von ca. 32%.)

Die Infrarot-Strahlung wärmt den Mensch direkt. Somit kann die Raumlufttemperatur beim Heizen mit den Heizflächen um zirka 2 °C geringer sein, als bei den üblichen, überwiegend konvektiv arbeitenden Systemen. Es sinkt der Wärmebedarf und letztlich der Energiebedarf zum Heizen.

Da die elektrischen Heizflächen nur eine sehr geringe Speichermasse besitzen, heizen sie sich sehr schnell auf. Das Heizbild z. B. besitzt bereits nach 5 Minuten eine Temperatur von zirka 60°C.

Weiterhin beträgt der Wirkungsgrad der elektrischen Heizflächchen 100%, da die erforderliche elektrische Energie vollständig in nutzbare Wärme umgesetzt wird.

Die Installationskosten sind außerordentlich gering. Außerdem entstehen keine Wartungskosten und das Betreiben der elektrischen Heizflächen ist denkbar einfach.

Das Reinigen der elektrischen Heizflächen ist problemlos möglich. Größere Staubablagerungen sind nicht zu erwarten.

Nutzbar sind die elektrischen Flächenheizungen sowohl in Wohnräumen (insbesondere Heizbild, Keramikheizung) als auch in Nassräumen (Heizspiegel). Der Heizspiegel bietet einen weiteren Vorteil: Er beschlägt nicht.

Die Strandheizung nimmt eine besondere Rolle ein. Sie ist mobil und erlaubt demnach das gezielte, örtliche Heizen.

2 Aufgabenstellung

Die elektrischen Heizflächen sollen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit in Wohnräumen untersucht werden. Dabei sind grundsätzlich vier unterschiedliche Typen der elektrischen Heizsysteme zu unterscheiden, die jedoch im Aufbau sehr ähnlich sind:

1. Heizbild (basierend auf der neuartigen flexiblen Infrarot-Kompositionsheizung)
2. Keramikheizung
3. Keramik-Standheizung
4. Heizspiegel

Im Einzelnen werden für die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit bei den vorgenannten elektrischen Heizflächen folgende Kriterien messtechnisch bzw. rechnerisch ermittelt:

- Leistungsabgabe der Flächenheizung
- maximale Oberflächentemperatur
- Aufheizverhalten
- Abschätzung des Emissionsgrades der Oberfläche
- Abschätzung des Strahlungsanteils
- Strahlungstemperaturasymmetrie

3 Aufbau der elektrischen Heizflächen

3.1 Heizbild

Das Heizbild besteht aus einem innenliegenden flexiblen Heizelement (Glasfaser-Kohlenstofffaser-Kombination mit eingewebten Metallfäden an zwei gegenüberliegenden Rändern), welches sich nach Beaufschlagung mit elektrischem Strom aufheizt. Überlappend umschlossen ist dieses Element mit elektrisch isolierenden Vliesen aus Glasfaser. Darauf aufgebracht ist beidseitig ein temperaturbeständiges Thermopapier. Zusammengehalten werden die unterschiedlichen Ebenen mit einem geeigneten polymeren Bindemittel. Das raumseitige Thermopapier besitzt den Charakter eines Posters. Das Heizbild wird mit Abstandshaltern an der Wand befestigt.

Breite: 900 mm

Höhe: 600 mm

Abstand zur Wand: 50 mm

3.2 Keramikheizung

Die Keramikheizung nutzt das gleiche Heizelement wie das Heizbild, jedoch dient hier die Keramikplatte selbst als Isolator. Rückseitig ist die Keramikheizung wärme gedämmt (ca. 9 mm). Zusammengehalten werden die einzelnen Ebenen von einem geeigneten Rahmen.

Breite: 900 mm

Höhe: 600 mm

3.3 Keramik-Standheizung

Die Standheizung basiert auf der Keramikheizung. Das Heizelement ist hierbei beidseitig von einer Keramikplatte umschlossen. Zusammengehalten werden die einzelnen Elemente mit einem hölzernen Rahmen, der an der Unterseite Füße besitzt.

Breite: 500 mm

Höhe: 400 mm

3.4 Heizspiegel

Der Heizspiegel unterscheidet sich nur unwesentlich von der Keramikheizung. Form und Abmessungen stimmen überein. Die rückseitige Wärmedämmung beträgt auch hier 9 mm. Anstelle der Keramikplatte wird hier ein so genannter Spionspiegel (Chromglas) eingesetzt.

Breite: 900 mm

Höhe: 600 mm

4 Begriffe und Definitionen

4.1 Thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit wird über die folgenden sechs Einflussgrößen beurteilt:

- Luftgeschwindigkeit
- Lufttemperatur
- Temperatur der Raumumschließungsflächen (Strahlungstemperatur)
- Luftfeuchte
- Bekleidung
- Aktivitätsgrad

Die Bekleidung und der Aktivitätsgrad sind von der jeweiligen Person selbst abhängig und weiter nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Ebenso spielt die Luftfeuchtigkeit eine eher untergeordnete Rolle. Der obere Grenzwert liegt bei 11,5 g Wasser je kg trockener Luft und einer relativen Feuchte von 65%. Für den unteren Grenzwert ist nichts in DIN 1946 Teil 2 festgelegt. Die Luftfeuchte sollte aber 30% relativer Feuchte nicht unterschreiten. Eine entsprechende Untersuchung ist im Zusammenhang mit den elektrischen Flächenheizungen nicht erforderlich.

4.2 Raumtemperatur

Die Raumtemperatur ist das arithmetische Mittel aus der örtlichen Raumlufttemperatur und der örtlichen Strahlungstemperatur.

$$t_R = 0,5 (t_{RL} + t_S)$$

(4.1)

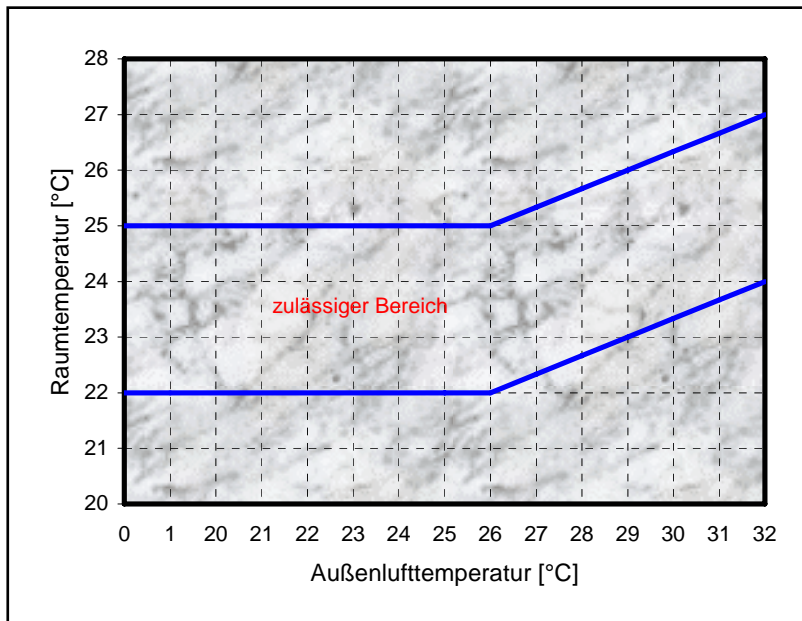


Bild 01: Zulässige Raumtemperatur nach DIN 1946 T2

4.3 Strahlungstemperatur

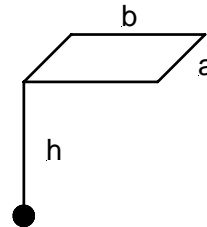
Die Strahlungstemperatur ist die Summe der Produkte aus Raumwinkel und zugehöriger Oberflächentemperatur für jede im Strahlungsaustausch stehende Teilfläche der Raumumschließung.

$$t_s = \sum_{i=1}^n \varphi_i t_i$$

(4.2)

Der Raumwinkel für den Strahlungsaustausch zwischen einer rechteckigen Fläche i und einem Kugelelement, welches sich senkrecht unterhalb einer Ecke der Fläche i befinden muss, ist wie folgt zu berechnen:

$$\varphi_i = \frac{1}{4\pi} \arctan \left[\frac{ab}{h \sqrt{(a^2 + b^2 + h^2)}} \right]$$



(4.3)

Bild 02: Grafische Darstellung zur Einstrahlzahlberechnung

Die in der Gleichung (4.3) für die Berechnung der Einstrahlzahlen enthaltenen geometrischen Größen sind in der nebenstehenden Zeichnung erklärt. Da der angegebene Sonderfall in der Praxis nur sehr selten vorkommt, ist die Kenntnis des Additionsgesetzes erforderlich:

$$\sum_{i=1}^n \varphi_i = 1$$

(4.4)

4.4 Strahlungstemperaturasymmetrie

Aus den Temperaturen der Raumschließungsflächen ist für den Betrachtungsort die jeweilige Differenz der Halbraumstrahlungstemperaturen zu ermitteln. Die entsprechenden Grenzwerte sind in Tabelle 01 aufgelistet.

Raumschließungsfläche	zulässige Halbraum-Strahlungstemperaturdifferenz [K]
warme Deckenflächen	≤ 3,5
kalte Wandflächen	≤ 8,0
gekühlte Deckenflächen	≤ 17,0
warme Wandflächen	≤ 19,0

Tabelle 01: Grenzwerte der Strahlungsasymmetrie nach DIN 1946 T2

5 Ergebnisse der Untersuchung

5.1 Leistungsabgabe und Oberflächentemperatur

Heizung	Leistungsabgabe	Oberflächentemperatur
	[W]	[°C]
Heizbild	470	77,2
Keramikheizung	300	59,1
Keramik-Standheizung	180	71,3
Heizspiegel	320	68,9

Tabelle 02: Leistungsabgabe und Oberflächentemperatur der elektrischen Flächenheizung bei einer Raumtemperatur von 22 °C

Die in Tabelle 02 angegebenen Oberflächentemperaturen sind Mittelwerte über die gesamte Oberfläche. Die Leistungsangaben sind Gesamtwerte, also Wärmestrahlung und Konvektion.

5.2 Aufheizverhalten

Heizung	nach 2 min	nach 5 min	nach 10 min	nach 30 min
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Heizbild	46,0	61,9	69,2	74,9
Keramikheizung	23,9	33,7	43,4	53,9
Keramik-Standheizung	24,0	36,2	49,1	63,9
Heizspiegel	22,3	28,8	40,4	57,8

Tabelle 03: Aufheizverhalten der elektrischen Flächenheizungen

In Tabelle 03 sind die gemittelten Oberflächentemperaturen angegeben, die sich nach entsprechender Zeit und bei einer Umgebungstemperatur von 22°C einstellen.

5.3 Abschätzung des Emissionsgrades der Oberfläche

Heizung	Emissionsgrad
	[-]
Heizbild	0,95
Keramikheizung	0,95
Keramik-Standheizung	0,95
Heizspiegel	0,85

Tabelle 04: Emissionsgrad der einzelnen elektrischen Heizflächen

Die Emissionsgrade wurden durch Vergleich von thermografisch ermittelten und über Kontaktthermometer gemessenen Temperaturen gewonnen.

Die in Tabelle 04 eingetragenen Werte für die Emissionsgrade geben an, wie gut die Wärmestrahlung von der Oberfläche emittiert wird. Der Wert 1,0 ist ein theoretischer Grenzwert, der von technischen Oberflächen nicht ganz erreicht wird. 0,95 ist ein sehr günstiger Wert. Der Emissionsgrad von 0,85 des Heizspiegels liegt für eine Spiegelfläche erstaunlich hoch.

5.4 Abschätzung des Infrarot-Strahlungsanteils

In dem nachstehenden Diagramm ist die Strahlungswärmeabgabe einer schwarzen Fläche bezogen auf eine Fläche von 1 m² in einen schwarzen Raum in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zum Raum angegeben.

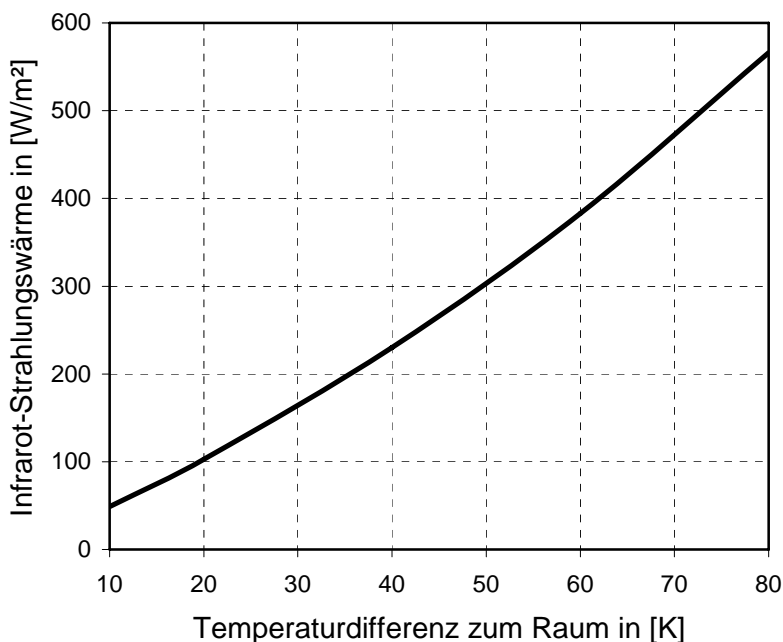


Bild 03: Infrarot-Strahlungswärmeabgabe und Temperaturdifferenz zum Raum

Heizung	Wärmeabgabe durch Infrarotstrahlung	Infrarot-Strahlungsanteil
	[W]	[%]
Heizbild	218,5	46
Keramikheizung	134	45
Keramik-Standheizung	98,5	53
Heizspiegel	159	43

Tabelle 05: Gesamtwärmeabgabe und Infrarot-Strahlungsanteil

(Zum Vergleich: Heute übliche Heizkörper besitzen im Mittel einen Infrarot-Strahlungsanteil von zirka 32%.)

6 Strahlungstemperaturasymmetrie

Befindet sich ein Mensch in einem Raum, in dem eine Wand kalt und die gegenüberliegende Wand warm ist, wird er ungleichmäßig von diesen Wänden temperiert. Überschreitet die Temperaturdifferenz der warmen und der kalten Wand einen gewissen Grenzwert, fühlt sich der Mensch unbehaglich. Dieses Ungleichgewicht der Wandtemperatur bezeichnet man als Strahlungstemperaturasymmetrie.

Bei der Bestimmung der Strahlungstemperaturasymmetrie wird der zu untersuchende Raum gedanklich in zwei Hälften geteilt. Bei der Betrachtung des Heizbildes ist dabei der Raum senkrecht und parallel zur heizenden Oberfläche des Bildes zu schneiden. Für die beiden Halbräume ist entsprechend der Gleichungen aus Abschnitt 4.3 die Strahlungstemperatur zu berechnen. Es ist zu beachten, dass alle Flächen des Halbraumes doppelt zu berechnen sind, so dass letztlich wieder ein Vollraum entsteht und damit die Summe der Einstrahlzahlen 1 beträgt.

Die Berechnungen im Rahmen dieser Untersuchung werden mit einem eigens entwickelten Strahlungs-Berechnungsprogramm anhand eines Modellraumes durchgeführt.

6.1 Modellraum für die Strahlungsasymmetrieberechnung

Der Modellraum für die Bestimmung der Strahlungstemperaturasymmetrie, welche durch die Verwendung von Flächenheizungen entsteht, weist die nachstehende Geometrie auf:

Länge: 5,0 m

Breite: 4,0 m

Höhe: 2,7 m

In einer der Seitenwände mit der Länge von 5 m befindet sich ein großes Panoramafenster. Es wurden drei unterschiedliche Fälle gerechnet:

Fall 1: Drei elektrische Heizflächen gegenüber dem Fenster

Fall 2: Drei elektrische Heizflächen auf den Seitenwänden verteilt

Fall 3: Eine vergrößerte elektrische Heizfläche gegenüber dem Fenster

Die Oberflächentemperatur des Fensters wurde mit 12°C angenommen. Alle sonstigen Flächen gingen mit einer Oberflächentemperatur von 20°C in die Berechnung ein. Im Fall 1 und 2 besitzen die Heizflächen eine Länge von 1000 mm und eine Höhe von 500 mm. Im Fall 3 beträgt die Länge 1200 mm und die Höhe 700 mm.

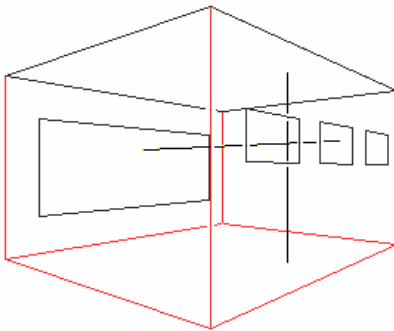


Bild 04: Modellraum mit drei elektrischen Heizflächen gegenüber dem Fenster

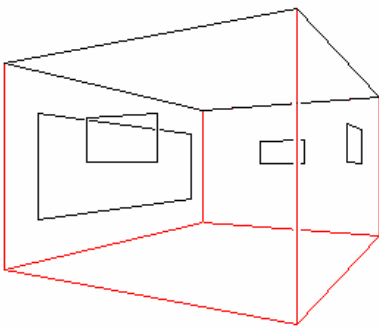


Bild 05: Modellraum mit drei elektrischen Heizflächen auf den Seitenwänden verteilt

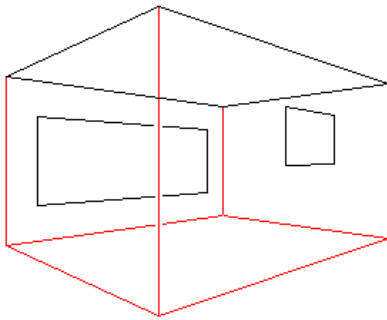


Bild 06: Modellraum mit einer größeren elektrischen Heizfläche gegenüber dem Fenster

6.2 Ergebnisse der Strahlungsasymmetrieberechnung

Temp. der Heizfläche	Abstand von der mittleren Heizfläche gegenüber dem Fenster in [cm]						
	50	75	100	150	200	300	350
60 °C	9,2	5,9	4,4	1,3	1,6	2,1	2,1
80 °C	13,7	8,7	6,4	4,3	3,6	4,2	5,8
90 °C	16,0	10,1	7,4	4,9	4,0	4,4	6,0

Tabelle 06: Strahlungstemperaturasymmetrie bei drei elektrischen Heizflächen gegenüber dem Fenster

Temp. der Heizfläche	Abstand von der mittleren Heizfläche gegenüber dem Fenster in [cm]						
	50	75	100	150	200	300	350
80 °C	11,3	5,9	3,4	1,4	2,4	4,6	6,2

Tabelle 07: Strahlungstemperaturasymmetrie bei drei elektrischen Heizflächen auf den Seitenwänden verteilt

Temp. der Heizfläche	Abstand von der mittleren Heizfläche gegenüber dem Fenster in [cm]						
	50	75	100	150	200	300	350
80 °C	17,5	10,5	7,0	4,1	3,1	3,8	5,5
90 °C	20,3	12,2	8,1	4,6	3,4	3,9	5,6

Tabelle 08: Strahlungstemperaturasymmetrie bei einer größeren elektrischen Heizfläche (1200 mm x 700 mm) gegenüber dem Fenster

6.3 Auswertung der Strahlungsasymmetrieberechnung

Die vorstehenden Tabellen 05 bis 07 zeigen die sich einstellenden Strahlungstemperaturasymmetrien, je nachdem wie weit ein Strahlungabsorbierender Körper von der Heizfläche entfernt ist und auf welche Oberflächentemperatur die Heizfläche eingestellt ist.

Nach Tabelle 01 beträgt der zulässige Wert für die Strahlungsasymmetrie 19 K.

Befindet sich entsprechend den Bedingungen nach Tabelle 06 eine stehende Person 75 cm vor der mittleren Heizfläche (diese Position ist in Bild 04 beispielhaft durch das schwarze Kreuz gekennzeichnet) und beträgt die Temperatur der Heizfläche 60°C, so empfindet diese Person die auf sie einwirkende Wärme als äußerst angenehm, da die Strahlungsasymmetrie mit 5,9 K deutlich unter dem zulässigen Wert von 19 K liegt.

Würde diese Person entsprechend den Bedingungen nach Tabelle 08 sich 50 cm vor der Heizfläche bei einer Oberflächentemperatur von 90°C stehen, würde sie sich unwohl fühlen, denn die Strahlungsasymmetrie beträgt in diesem Fall 20,3 K und ist damit größer als 19 K. (Anmerkung: Die Raumzone, in der sich Menschen in der Regel aufhalten, endet nach DIN 1946 T2 einen halben Meter vor einer Innenwand und einen Meter einer Außenwand.)

Daraus ergibt sich, dass die Temperatur der hier untersuchten Heizflächen keinesfalls höher als 80°C sein sollte, da sonst thermische Behaglichkeit nicht mehr garantiert werden kann.

Neben der Temperatur ist auch die Anordnung der Heizflächen entscheidend. Dies wird deutlich, wenn Tabelle 06 und Tabelle 07 miteinander verglichen werden. Die Rechenwerte aus Tabelle 06 bedingen die Anordnung der Heizflächen gegenüber dem Fenster. Werden die Heizflächen gleichmäßig im Raum verteilt, entsteht eine günstigere Strahlungsasymmetrie, Tabelle 07.

Aus den Strahlungsasymmetrieberechnungen lassen sich nun folgende Aussagen ableiten:

1. Es ist von Vorteil, die Heizflächen gleichmäßig im Raum zu verteilen. Dies führt zu einer günstigeren Verteilung der Strahlungsasymmetrie.
2. Bis zu einer Oberflächentemperatur der Heizflächen von 80°C liegt bei den hier untersuchten Bedingungen keine thermische Unbehaglichkeit durch eine zu große Strahlungsasymmetrie vor.
3. Bei einer Oberflächentemperatur der Heizflächen von 90°C kann es zu thermischer Unbehaglichkeit durch zu große Strahlungsasymmetrie kommen.
4. Wenn es möglich ist, sollten die Heizflächen nicht gegenüber dem Fenster aufgehängt werden.
5. Die optimale Stelle der elektrischen Heizflächen ist unmittelbar neben einem Fenster. In diesem Fall wird die an das Fenster abgegebene Strahlungswärme direkt wieder durch die Infrarot-Strahlung der Heizfläche kompensiert.

7 Schlussbetrachtung

Im Rahmen dieser Untersuchung sollen die elektrischen Heizflächen bei Verwendung in Wohnräumen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit begutachtet werden. Dazu wurden entsprechende Berechnungen und Messungen durchgeführt.

Wie gezeigt werden konnte, geben die elektrischen Heizflächen die Wärme zu einem großen Teil (im Mittel ca. 50%) durch Infrarot-Strahlung an ihre Umgebung ab. Wärme durch Infrarot-Strahlung wird als sehr angenehm empfunden. (Zum Vergleich: Heute übliche Heizkörper besitzen einen Infrarot-Strahlungsanteil im Mittel von zirka 32%.)

Die Infrarot-Strahlung wird direkt beim Auftreffen auf eine Person oder einen Gegenstand in Wärme umgesetzt; die Raumlufttemperatur kann daher niedriger bleiben (zirka 2°C). Auf diese Weise lässt sich bei gleichem Komfortempfinden Energie sparen.

Die erforderliche elektrische Energie wird im Raum gänzlich in Wärme umgesetzt und zu 100% zur Raumheizung genutzt. Transportverluste an thermischer Energie vom Wärmeezeuger zum Raum können nicht auftreten.

Da die elektrischen Heizflächen nur eine sehr geringe Speichermasse besitzen, heizen sie sich selbst sehr schnell auf. Das Heizbild besitzt bereits nach 5 Minuten eine Temperatur von 60°C. Die Infrarot-Strahlung wärmt demnach bereits nach sehr kurzer Zeit Personen, Möbel und Wände. Die Raumluft wird wie bei jedem anderem Raumheizsystem konvektiv mit entsprechender Verzögerung aufgewärmt.

Die Standheizung nimmt eine besondere Rolle ein. Sie ist mobil und erlaubt demnach das direkte, örtliche Heizen. Wird diese Möglichkeit entsprechend genutzt, und nur dort geheizt, wo die Wärme auch benötigt wird, trägt dies weiterhin zur Senkung des Wärmebedarfs bei.

Die Installationskosten der elektrischen Heizflächchen sind außerordentlich gering. Außerdem entstehen keine Wartungskosten und das Betreiben der elektrischen Heizflächen ist denkbar einfach.

Das Reinigen der elektrischen Heizflächen ist problemlos möglich. Staubablagerungen, wie z.B. zwischen den Heizrippen eines Heizkörpers sind nicht zu erwarten.

Nutzbar sind die elektrischen Flächenheizungen sowohl in Wohnräumen (insb. Heizbild, Keramikheizung) als auch in Nassräumen (Heizspiegel). Der Heizspiegel bietet einen weiteren Vorteil: Er beschlägt nicht.

Literatur

Fachbücher

- [1] Fanger, P.O.: Thermal comfort. Copenhagen: Danish Technical Press 1970
- [2] Glück, B.: Strahlungsheizung - Theorie und Praxis. Karlsruhe: C.F. Müller-Verlag 1982
- [3] Rietschel, H.: Raumklimotechnik (1. Grundlagen). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1994
- [4] Recknagel, H.; E. Sprenger; E.-R. Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag 1997

Normen und Richtlinien

- [5] DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. März 1983
- [6] VDI-Wärmeatlas. 7. Auflage 1994

Fachaufsätze

- [7] Glück, B.: Berechnung der Einstrahlzahlen in einem Neuartigen Raummodell. Gesundheits-Ingenieur 3/1997
- [8] Gräff, B.; M. Immel; J. Mast: Heizen von Büroräumen mit Deckenluftdurchlässen. DKV Jahrbuch 2001