



# Erste Hochrechnung der Effizienzziffer von infrarotstrahlenden Flächenheizungen

## Ralf Stöber

### 1 Ausgangslage

Infrarotstrahlende Flächenheizungen schaffen ein angenehmes Raumklima, da sie die Beheizung von Räumen mit niedrigen Temperaturen bis zu 35 °C ermöglichen, was durch die gleichmäßige Erwärmung der Hüllflächen von Personen im Raum als behaglich empfunden wird. Trotz des Einsatzes an vielen Stellen fehlen bis jetzt fundierte Aussagen zum Energieverbrauch dieses Heizungstyps in Abhängigkeit vom beheizten Gebäude, auch wenn nicht systematisch erfasste Erfahrungswerte auf einen deutlichen niedrigeren Verbrauch als bei wasserführenden Heizungssystemen hindeuten. Im Rahmen dieser Untersuchungen soll der Energieverbrauch der infrarotstrahlenden Flächenheizung an Räumen und Wohnungen verschiedener Ausführung systematisch untersucht werden. Dieser Bericht gibt einen ersten Zwischenstand wieder, wie aufgrund der zu seiner Fertigstellung am 20. Dezember 2016 vorhandenen Daten die Effizienzziffern hochgerechnet werden.

### 2 Literatur

Das Heizen mit Infrarotstrahlung findet in vielen Fachbereichen Anwendung. In der Landwirtschaft beispielsweise werden damit die Wachstumsbedingungen für Pflanzen in Treibhäusern [1] verbessert oder das Wachstum von Pflanzen bei erhöhten Temperaturen im Freilandanbau untersucht [2]. Auch zum Kochen von Lebensmitteln in der industriellen Produktion wie bei der Fleischverarbeitung kommen Infrarotheizelemente zum Einsatz [3]. Die Verbesserung der eingesetzten Heizelemente zum Betrieb mit verschiedenen Energieträgern wie Strom oder Gas ist ein wichtiges Thema wie in [4], wo mit einem Modell gasbetriebene Infrarotheizungen verbessert werden. Aussagen zur energetischen Effizienz von Infrarotheizungen fehlen anders als bei Wärmepumpen, wo die Verbesserung der Arbeitsziffer beispielsweise durch eine optimierte Regelung Gegenstand verschiedener Untersuchungen ist [5], [6].

### 3 Definition der Effizienzziffer

Die Leistungsziffer  $\varepsilon_W$  einer Wärmepumpe ist als

$$\varepsilon_W = \frac{\dot{Q}_{ab}}{P} \quad (\text{Gl. 1})$$

definiert [7], wobei  $\dot{Q}_{ab}$  der abgegebene Wärmestrom und  $P$  die zugeführte elektrische Leistung ist. Bei einer elektrischen Flächenheizung lässt sich mangels eines Kreisprozesses, der Wärme aus der Umgebung nutzbar macht, diese Definition nicht anwenden. Zum Vergleich mit Wärmepumpen wird deswegen für die folgenden Betrachtungen die Effizienzziffer  $\varepsilon_{IR}$  für infrarotstrahlende Flächenheizungen

$$\varepsilon_{IR} = \frac{Q_{EA}}{Q_V} \quad (\text{Gl. 2})$$

definiert, wobei  $Q_{EA}$  der Endenergiebedarf des Gebäudes ohne Warmwasser laut Energieausweis ist und  $Q_V$  der tatsächliche Verbrauch der infrarotstrahlenden Flächenheizung für den vergleichbaren Zeitraum.

## 4 Versuchsräume

Für die durchgeführten Untersuchungen stehen zwei Objekte zur Verfügung, in denen nach den Bedürfnissen der Nutzer geheizt wird. Zum einen erfolgt die Beheizung des Raums FAN C 2.27 (Fläche ca. 40 m<sup>2</sup>) im Gebäude FAN C der Universität Bayreuth mit infrarotstrahlenden Heizfolien bei abgeschalteten Heizkörpern und abgeschalteter Lüftungsanlage, zum anderen wird der Verbrauch einer als Büro genutzten Wohnung mit einer beheizten Fläche von 67,6 m<sup>2</sup> in einem Rosenheimer Fünffamilienhaus ausgewertet. Die Beheizung dort erfolgt mit dem gleichen Heizfolientyp wie in Bayreuth, auch die Regelung und die Spannungsversorgung sind vom Aufbau her identisch. Beide Gebäude unterscheiden sich aufgrund des Baujahrs in ihrem Energieverbrauch. Das Gebäude FAN C mit Baujahr 1998 bis 2000 weist natürlich einen höheren Energieverbrauch als das 2015 errichtete Gebäude in Rosenheim auf. Die Verbrauchserfassung erfolgt in Bayreuth über eine Abschätzung aus den Einschaltzeiten und der jeweiligen Leistung der Heizmatten, die zu Beginn der Untersuchung messtechnisch überprüft wurden. In Rosenheim ist ein Zwischenstromzähler für die Heizung in der Wohnungsverteilung vorhanden.

## 5 Hochrechnung der Effizienzziffer

Da bisher nur Teile von Heizperioden bei den genannten Räumen beobachtet werden konnten, erfolgt eine Hochrechnung der Effizienzziffer auf Grundlage des beobachteten Zeitraums. Dazu wird der Jahresverbrauch nach VDI 2067 hochgerechnet und die dort angegebene Tabelle mit der durchschnittlichen Verteilung des Heizenergieverbrauchs über das Jahr verwendet (Tabelle 1). Aus diesem Wert erfolgt die Abschätzung der Effizienzziffer nach Gl. 2.

Monat	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Anteil in ‰	170	150	130	80	40	40/3	40/3	40/3	30	80	120	160

Tabelle 1 – Mittlerer Heizenergieverbrauch nach VDI 2067 [8].

Beim Versuchsraum in Bayreuth und der Wohnung in Rosenheim erfolgt alle 30 Sekunden die Speicherung aller wichtiger Betriebsdaten der Heizung, allerdings stehen von der Wohnung in Rosenheim zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Berichts nur die in Tabelle 2 aufgeführten Ablesewerte des Zwischenzählers zur Verfügung.

Tag	24.09.2016	01.12.2016	11.12.2016
Zählerstand in kWh	1423,17	1708,61	1840,19
Verbrauch in kWh	-	285,44	417,02

Tabelle 2 – Ablesewerte und Verbrauch Zwischenzähler Rosenheim.

Für die in Tabelle 2 aufgeführten Ablesezeitpunkte im Dezember werden in Tabelle 3 die Anzahl der Tausendstel nach VDI 2067 berechnet. Für den Anfangs- und den Endtag werden jeweils 0,5 Tage angesetzt, da von den Ablesezeitpunkten nur bekannt ist, dass sie innerhalb der normalen Arbeitszeiten liegen.

	Monat	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Summe
Ablesung 1.12.16	Nutzungstage	6,5	31	31	0,5	69
	Anteil in ‰	6,5	80,0	120,0	2,6	209,1
Ablesung 11.12.16	Nutzungstage	6,5	31	31	10,5	79
	Anteil in ‰	6,5	80,0	120,0	54,2	260,7

Tabelle 3 – Bestimmung der Tausendstel nach VDI 2067 für die Wohnung in Rosenheim.

Nach Gl. 2 ergeben sich für die Effizienzziffer die Hochrechnungen

$$\varepsilon_{IR,01.12.} = \frac{Q_{EA}}{Q_{VH,01.12.}} = \frac{Q_{EA}}{Q_{VA,01.12.} \cdot \frac{1000}{209,1}} \approx \frac{40 \text{ kWh/m}^2 \cdot 67,6 \text{ m}^2}{285,44 \text{ kWh} \cdot \frac{1000}{209,1}} \approx 1,96 \quad (\text{Gl. 3})$$

$$\varepsilon_{IR,11.12.} = \frac{Q_{EA}}{Q_{VH,11.12.}} = \frac{Q_{EA}}{Q_{VA,11.12.} \cdot \frac{1000}{260,7}} \approx \frac{40 \text{ kWh/m}^2 \cdot 67,6 \text{ m}^2}{417,02 \text{ kWh} \cdot \frac{1000}{260,7}} \approx 1,69 \quad (\text{Gl. 4})$$

Dabei bezeichnet  $Q_{VH}$  die Hochrechnung des Jahresverbrauchs zu einem bestimmten Tag, während  $Q_{VA}$  den Verbrauch laut Ablesung zu einem bestimmten Tag ist. Zur Ermittlung des errechneten Heizwärmebedarfs wurde der Wert aus dem Energieausweis mit der beheizten Fläche der Wohnung von 67,6 m<sup>2</sup> multipliziert. Der Unterschied in den Berechnungen in Gl. 3 und Gl. 4 ist auf die Schwankungen der Witterung während der Messzeiträume zurückzuführen, die nur 20 % bzw. 25 % der Heizperiode nach VDI 2067 abdecken.

Beim Versuchsraum in Bayreuth sind für die Auswertung zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Berichts alle Messwerte vorhanden, wodurch eine Auswertung unter verschiedenen Aspekten möglich ist. Die Anteile der Tage am Anfang und Ende werden auf eine Viertelstunde genau berücksichtigt. Angesichts des im Vergleich zu Rosenheim noch kurzen Betrachtungszeitraums wird der gesamte Zeitraum ausgewertet, sowie die Wochenenden (Samstag und Sonntag) und die Werktage (Montag bis Freitag). Da an den Wochenenden der Raum nicht genutzt wird, sind in diesem keine zusätzlichen Wärmequellen vorhanden, wodurch man einen Eindruck des Verbrauchs des ungenutzten Raums gewinnt.

Monat	Nov.	Dez.	Summe
<b>Nutzungstage</b>	6,4	19,4	25,8
<b>Anteil in ‰</b>	25,6	100,1	125,7

Tabelle 4 – Tausendstel Gesamtzeitraum nach VDI 2067 für den Raum in Bayreuth.

Für den in Tabelle 4 aufgeführten Gesamtzeitraum vom 24. November 2016 bis zum 20. Dezember 2016 ergibt sich nach Gl. 2 die Effizienzziffer

$$\varepsilon_{IR,20.12.} = \frac{Q_{EA}}{Q_{VH,20.12.}} = \frac{Q_{EA}}{Q_{VA,20.12.} \cdot \frac{1000}{125,7}} \approx \frac{124 \text{ kWh/m}^2 \cdot 40 \text{ m}^2}{185,8 \text{ kWh} \cdot \frac{1000}{125,7}} \approx 3,36 \quad (\text{Gl. 5}).$$

Dabei wurde in Gl. 5 von dem im Energieausweis genannten Verbrauchwert 32 kWh/m<sup>2</sup> für Warmwasser abgezogen, was der in der Heizkostenverordnung vorgeschriebenen Berechnungsweise entspricht.

	Monat	Nov.	Dez.	Summe
<b>Wochenende</b>	<b>Nutzungstage</b>	2	6	8
	<b>Anteil in ‰</b>	8,0	31,0	39,0
<b>Werktage</b>	<b>Nutzungstage</b>	4,4	13,4	17,8
	<b>Anteil in ‰</b>	17,6	69,2	86,8

Tabelle 5 – Tausendstel Wochenende/Werktag nach VDI 2067 für den Raum in Bayreuth.

Für die in Tabelle 5 genannten Zeiträume ergeben sich folgende Hochrechnungen für die Effizienzziffer

$$\varepsilon_{IR,WE} = \frac{Q_{EA}}{Q_{VH,WE}} = \frac{Q_{EA}}{Q_{VA,WE} \cdot \frac{1000}{39,0}} \approx \frac{124 \text{ kWh/m}^2 \cdot 40 \text{ m}^2}{69,0 \text{ kWh} \cdot \frac{1000}{39,0}} \approx 2,80 \quad (\text{Gl. 6}),$$

$$\varepsilon_{\text{IR,WT}} = \frac{Q_{\text{EA}}}{Q_{\text{VH,WT}}} = \frac{Q_{\text{EA}}}{Q_{\text{VA,WT}} \cdot \frac{1000}{86,8}} \approx \frac{124 \text{ kWh/m}^2 \cdot 40 \text{ m}^2}{116,8 \text{ kWh} \cdot \frac{1000}{86,8}} \approx 3,69 \quad (\text{Gl. 7}).$$

Die Abkürzung „WE“ steht dabei für Wochenende, die Abkürzung „WT“ für Werktage. Trotz des sehr kurzen Betrachtungszeitraums und des Einflusses der Witterung erkennt man bei einem Vergleich von Gl. 6 und Gl. 7 die starke Abhängigkeit der Effizienz Zahl von inneren Wärmequellen im Raum, so dass eine Unterscheidung dieser beiden Fälle sinnvoll erscheint, was bei aber Messungen von genutzten Räumen in der Regel nicht möglich ist. Deswegen wird die Definition von Gl. 2 nicht erweitert und diese als Wert unter normalen Einsatzbedingungen definiert. Im Vergleich zu Wärmepumpen erscheint dies angemessen, weil hier die mittlere Jahresarbeitsziffer auch unter praktischen Betriebsbedingungen ermittelt wird.

## 6 Zusammenfassung

An einer Wohnung in Rosenheim und einem Raum im Gebäude FAN C der Universität Bayreuth konnten erste Hochrechnungen für die Effizienz ziffer von infrarotstrahlenden Nieder-temperaturflächenheizungen vorgenommen werden. Die höhere Effizienz ziffer bei dem älteren Gebäude deutet darauf hin, dass hier durch die Erwärmung aller Raumflächen Einspareffekte erzielt werden können. Allerdings lassen sich anhand der betrachteten Zeiträume noch keine weitreichenderen Aussagen treffen, dazu muss die Fortführung der Untersuchungen abgewartet werden. Wenn im Jahr 2017 zwei zusätzliche Wohnungen in Wunsiedel und eine in Augsburg zur Verfügung stehen, können die Betrachtungen auf eine breitere Datenbasis gestellt werden.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] F. Kempkes und N. van de Braak, „Heating system position and vertical microclimate distribution in chrysanthemum greenhouse,“ *Agricultural and Forest Meteorology*, Nr. 104, pp. 133-142, 2000.
- [2] B. Kimball und M. Conley, „Infrared heater arrays for warming field plots scaled up to 5-m diameter,“ *Agricultural and Forest Meteorology*, Nr. 149, pp. 721-724, 2009.
- [3] P. Sheridan und N. Shilton, „Application of far infra-red radiation to cooking of meat products,“ *Journal of Food Engineering*, Nr. 41, pp. 203-208, 1999.
- [4] J. Deans und M. Kögl, „The curing of powder coatings using gaseous infrared heaters: An analytical model to assess the process thermal efficiency,“ *Int. J. Therm. Sci.*, Nr. 69, pp. 762,769, 2000.
- [5] P. Tatjewski, M. Ławrynczuk, P. Maru, M. Rubik, P. Zietek, M. Szumski und M. Szumski, „Design and Implementation of the Air/Water Heat Pump Controller with Increased Coefficient of Performance,“ in *Proc. of 2016 21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR) 29. August bis 1. September 2016*, Misdroy, 2016.
- [6] F. Tahersima, J. Stoustrup und H. Rasmuss, „Economic COP Optimization of a Heat Pump with Hierarchical Model Predictive Control,“ in *Proc. 51st IEEE Conference on Decision and Control December 10-13, 2012.*, Maui, Hawaii, 2012.
- [7] J. Dohmann, *Thermodynamik der Kälteanlagen und Wärmepumpen - Grundlagen und Anwendungen der Kältetechnik*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016.
- [8] M. Etefagh, M. Ghaemi und M. Yazdaniyan Asr, „Bearing Fault Diagnosis using Hybrid Genetic Algorithm K-means Clustering,“ in *Proc. IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Application*, Alberobello, Italien, 23. bis 25. Juni 2014.
- [9] S. Acharya, S. Saha und Y. Thadisina, „Multiobjective Simulated Annealing-Based Clustering of Tissue Samples for Cancer Diagnosis,“ *IEEE J.BHI*, Bd. 20, Nr. 2, 691-698 März 2016.

[10] G. Breuninger, Lernfähiges Diagnosemodul zur Überwachung von flexiblen Handhabungssystemen, Bayreuth: Masterarbeit am Lehrstuhl für Mess- und Regeltechnik, 2016.