

Die Behaglichkeits-Maxime

Die Strahlungsheizung eröffnet als humane Alternative völlig neue Wege in der Heiztechnik. Als Gegenpol zur Konvektionsheizung nimmt sie eine Position ein, die der Konvektionsheizung in jeder Hinsicht weit überlegen ist.

Die Strahlungsheizung stützt sich dabei auf folgende physikalische Grundlagen [1], [2], [3]:

1. Wärmestrahlung ist eine elektromagnetische Welle, wie das Licht, der Strom, die Mikrowelle.
2. Die Strahlungsleistung gehorcht dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz, das heißt, sie ist proportional zur vierten Potenz der absoluten Temperatur. Die Wärmeleistung einer Konvektionsheizung dagegen verhält sich gemäß klassischer Wärmelehre (fast) proportional zur Übertemperatur. Diese aber spielt bei der Strahlungsheizung überhaupt keine Rolle.
3. Eine Wärmestrahlung kann keine Luft erwärmen, sondern nur Materie. Die Raumluft bleibt deswegen kühl und angenehm.
4. Da die Umfassungstemperaturen deshalb höher sind als die Lufttemperatur, entsteht auch kein Schimmelpilz – Luft kondensiert nur bei Abkühlung.
5. Bei dem aus hygienischen Gründen notwendigen Luftaustausch wird infolge der niedrigen Lufttemperaturen Energie gespart.
6. Infolge der ruhenden Luft (keine Staubaufwirbelung) wird eine geringe Luftwechselrate ermöglicht.
7. Alle Oberflächentemperaturen im Raum gleichen sich durch Strahlungsausgleich an. Es entstehen gleichmäßig temperierte Umfassungsflächen einschließlich der Möbel – man fühlt sich wohl und behaglich.
8. Eine Wärmestrahlung (Temperaturstrahlung) durchdringt kein normales Glas. Sie verbleibt im Raum und erzeugt damit einen "Treibhauseffekt". Dadurch werden Wärmeschutzgläser mit kleinen U-Werten überflüssig.

Die gravierenden physikalischen Unterschiede beider Heizsysteme führen zu fehlerhaften Leistungszahlen, da die Theorie der strahlungsintensiven (radiativen) Heiztechnik falsch gehandhabt wird. Dieser Fauxpas muß überwunden werden.

Behaglichkeit ist oberstes Ziel einer humanen Heiztechnik und muß auch als Zusammenspiel von Raumlufttemperatur und Wandoberflächentemperatur gesehen werden. Die Abbildung 1 zeigt das Behaglichkeitsprofil, die Behaglichkeitstemperatur liegt dabei etwa in der Mitte beider Temperaturen. Um Behaglichkeitskriterien zu erfüllen, ermöglicht eine Wandtemperatur von z. B. 22°C eine Raumlufttemperatur von nur 15°C. Diese energetisch günstige Konstellation kann nur eine Strahlungsheizung leisten.

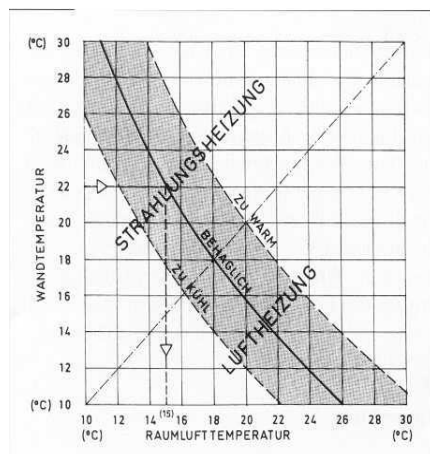


Abb. 1: Behaglichkeitsprofil aus Wand- und Raumlufttemperatu (nach Bedford und Liese)

Diese physikalischen und physiologischen Gegebenheiten erzwingen geradezu die Wahl einer Strahlungsheizung. Bereits installierte Heizanlagen zeigen, daß diese in Zukunft eine immer größer werdende Verbreitung finden werden. Die konvektiv ausgerichtete Heizanlagenpraxis jedoch berücksichtigt diese Vorzüge nicht und wehrt sich vehement gegen diese für den Menschen so notwendige Anwendung einer radiativen Heiztechnik.

Wärmeleistungen

Die Wärmeleistung einer Strahlungsheizung setzt sich sowohl bei einer temperierten Fläche (Strahlplatte, temperierte Wand) als auch bei der Verteilungsleitung aus einem radiativen, also strahlungsintensiven und einem konvektiven Anteil zusammen. Je nach Temperatur der wirksamen Heizfläche ist die Verteilung beider Wirkmechanismen jedoch unterschiedlich.

Wärmeleistung einer temperierten Fläche (Strahlplatte)

Die Strahlungsintensitäten des Planckschen Strahlungsgesetzes wurden meßtechnisch in einem zylindrischen Hohlraum gefunden. Durch vielfache Reflektion der Strahlung erhält man einen schwarzen Strahler, man spricht dann von einer Hohlraumstrahlung. Ein Zimmer mit seinen Umfassungsflächen kann nun durchaus mit einem Hohlraum verglichen werden.

Anfangs sei erwähnt, daß das in [4] genannte Plancksche Strahlungsgesetz einen Faktor 2 enthält, der nach [5] die beiden Polarisationsmöglichkeiten berücksichtigt (Hohlraumstrahlung). Diese Handhabung wird angezweifelt und man fragte beim Lexikon-Verlag an, inwieweit man vergessen habe, diesen Faktor 2 in [4] zu löschen. Auch von einem Druckfehler ist die Rede. In der "Fach-Literatur" wird durch den Wegfall des Faktors 2 die Strahlungsleistung halbiert (Halbraumstrahlung). Dies ist in [1], [2] und [3] umfangreich kommentiert worden.

Seit über zwei Jahren haben sich in der praktischen Anwendung die Werte einer Hohlraumstrahlung, also mit dem Faktor 2, bestätigt. Es besteht kein Grund, unbedingt davon abzuweichen. Um jedoch die stets grundsätzlich vorzuziehende Strahlungsheizung in der argumentativen Auseinandersetzung nicht unnötig zu belasten, werden die Leistungszahlen einer Halbraumstrahlung herangezogen. Auch so können die Vorteile einer Strahlungsheizung überzeugend dargelegt werden. Eine Hohlraumstrahlung würde dann noch bessere Ergebnisse liefern.

Die radiative Wärmeleistung q_r einer temperierten Fläche als Halbraumstrahlung wird nach dem Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann:

$$(1) \quad q_r = C_S \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{273 + \vartheta_{si}}{100} \right)^4 \quad (\text{W/m}^2)$$

Für $C_S = 5,67$ und $\varepsilon = 0,93$ wird damit:

$$(1a) \quad q_r = 5,27 \cdot \left(\frac{273 + \vartheta_{si}}{100} \right)^4 \quad (\text{W/m}^2)$$

ϑ_{si} = Oberflächentemperatur (°C) (bei Strahlplatten einer Heizanlage etwa gleichbedeutend mit H_m , der mittleren Heizwassertemperatur). Die Tabelle 1 listet die nach Formel (1a) berechneten Wärmeleistungen auf.

Tabelle 1: Die radiative Wärmeleistung q_r einer Strahlungsheizung in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur ϑ_{si} (°C) Halbraumstrahlung

ϑ_{si}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
20	389	394	399	405	410	416	421	427	433	439	W/m ²
30	444	450	456	462	468	475	481	487	493	500	W/m ²
40	506	513	519	526	532	539	546	553	560	567	W/m ²
50	574	581	588	596	603	610	618	625	633	641	W/m ²
60	648	656	664	672	680	688	696	705	713	721	W/m ²

70	730	738	747	756	765	773	782	791	800	810	W/m ²
80	819	828	837	847	857	866	876	886	896	906	W/m ²
90	916	926	936	947	957	967	978	989	999	1010	W/m ²

Bei einer Hohlraumstrahlung müßten diese Werte verdoppelt werden.

Demgemäß liegen die Wärmeleistungen q_r einer Strahlungsheizung im Halbraum zwischen 389 W/m² (bei 20°C Wandoberflächentemperatur) und 1010 W/m² (bei 99°C Heizflächenoberflächentemperatur). Deutlich wird, daß hohe Oberflächentemperaturen nicht erforderlich werden, um ausreichende Wärmeleistungen zu erzielen.

Bei einer temperierten Fläche (Strahlplatte oder Wand) wird stets auch ein konvektiver Wärmeübergang festzustellen sein, der die unmittelbar anliegende Luftschicht erwärmt. Bei Strahlungsheizungen wird dabei eine laminare Strömung zum Tragen kommen, da Strahlung die Luft unbehelligt läßt.

Die konvektive Wärmeleistung q_c einer laminaren Strömung wird bei senkrechten Flächen einer Strahlplatte oder temperierten Wand nach [6]:

$$(2) \quad q_c = 1,45 \cdot (\Delta\vartheta)^{1,25} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$\text{dabei ist:} \quad (3) \quad \Delta\vartheta = \vartheta_{si} - \vartheta_i \quad (\text{K})$$

$$\vartheta_i = \text{Innenraumlufttemperatur (}^\circ\text{C)}$$

Die Tabelle 2 enthält die konvektiven Wärmeleistungen einer Strahlplatte oder temperierten Wand nach Formel (2):

Tabelle 2: Die konvektive Wärmeleistung q_c einer senkrechten Fläche in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ (K)

$\Delta\vartheta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0	1	3	6	8	11	14	17	20	23	W/m ²
10	26	29	32	36	39	43	46	50	54	58	W/m ²
20	61	65	69	73	77	81	85	89	93	98	W/m ²
30	102	106	110	115	119	123	128	132	137	141	W/m ²
40	146	150	155	160	164	169	174	178	183	188	W/m ²
50	193	198	202	207	212	217	222	227	232	237	W/m ²
60	242	247	252	257	262	268	273	278	283	288	W/m ²
70	294	299	304	309	315	320	325	331	336	342	W/m ²

Die gesamte Wärmeleistung temperierter Flächen ergibt sich aus q_r und q_c :

$$(4) \quad \Sigma q = q_r + q_c \quad (\text{W/m}^2)$$

Die Abbildung 2 enthält die Σq -Kurve "Halbraumstrahlung mit Konvektion".

Beispiel:

Bei einer Raumlufttemperatur von $\vartheta_i = 18^\circ\text{C}$ und einer Strahlplattentemperatur von $H_m = \vartheta_{si} = 35^\circ\text{C}$ wird $\Delta\vartheta = 17 \text{ K}$. Mit diesen Angaben kann die Gesamtwärmeleistung Σq einer Strahlplatte aus Strahlung und Konvektion bestimmt werden:

$$\text{nach Tabelle 1 } (\vartheta_{si} = 35^\circ\text{C}): \quad q_r = 475 \text{ W/m}^2$$

$$\text{nach Tabelle 2 } (\Delta\vartheta = 17 \text{ K}): \quad q_c = 50 \text{ W/m}^2$$

$$\Sigma q = 525 \text{ W/m}^2$$

Der Strahlungsanteil beträgt hier $(475 : 525) \times 100 = 90\%$. Die Dominanz der Strahlung ist beachtlich. Bei einer "Hohlraumstrahlung" vergrößert sich der Strahlungsanteil.

Folgendes muß angemerkt werden:

Physikalisch kann es einen "Wärmeübergangskoeffizienten Strahlung h_r " nicht geben, da Luft für Strahlung diatherm ist, sie wird nicht erwärmt. Es ist deshalb ein Trugschluß, auch bei der Strahlung von einem Wärmeübergang von der Fläche an die Luft (wie bei der Kon-

vektion) auszugehen. Dies stimmt mit der Realität nicht überein, es handelt sich lediglich um eine "rechnerische Krücke". Die DIN EN ISO 6946 betrifft hier ein virtuelles Feld.

Der bei einer Strahlungsheizung deshalb als "Phantasiewert" fungierende Wärmeübergangskoeffizient h_r würde in diesem Fall $475 : 17 = 27,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, der Gesamtwärmeübergangskoeffizient $1/R_S$ dann $525 : 17 = 30,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ betragen. Diese sehr hohen Werte charakterisieren die Leistungsfähigkeit einer Strahlungsheizung in überzeugender Weise (bei einer Hohlraumstrahlung würden die beiden Werte $55,8$ und $58,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ betragen).

Bei üblichen Heizmitteltemperaturen einer Strahlungsheizung mit Strahlplatten von ca. 35 bis 45°C wird der Anteil der Strahlungswärme ca. 87 bis 92% betragen (bei einer Hohlraumstrahlung ca. 93 bis 96%). Eine temperierte Wand mit 20 bis 25°C Oberflächentemperaturen ergibt Strahlungsanteile von ca. 97 bis 100% (Halbraumstrahlung). Eine Strahlungsheizung funktioniert eben durch Strahlung und vor allem durch niedrige Vorlauf- und damit Oberflächentemperaturen. Die Vorstellungen konvektiver Heiztechnik sind auf die Strahlungsheizung nicht übertragbar.

Wärmeleistung von Verteilungsrohren

Wenn bei einer Heizungsanlage die Rohrleitungen offen verlegt werden, dann können auch diese für die Wärmelieferung mit herangezogen werden.

Die radiative Wärmeleistung q_{Lr} einer Rohrleitung als Halbraumstrahlung wird:

$$(5) \quad q_{Lr} = C_S \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{273 + \vartheta_{si}}{100} \right)^4 \cdot d \cdot \pi \quad (\text{W/m})$$

Für $C_S = 5,67$ und $\varepsilon = 0,93$ sowie $d = 0,018 \text{ m}$ wird damit:

$$(5a) \quad q_{Lr} = 0,298 \cdot \left(\frac{273 + \vartheta_{si}}{100} \right)^4 \quad (\text{W/m})$$

ϑ_{si} = Oberflächentemperatur ($^\circ\text{C}$) (allgemein gleichbedeutend etwa mit H_m)

Die Tabelle 3 listet die nach Formel (5a) berechneten Wärmeleistungen auf.

Tabelle 3: Die radiative Wärmeleistung q_{Lr} von Verteilungsrohren in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur ϑ_{si} ($^\circ\text{C}$) Halbraumstrahlung

ϑ_{si}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
20	22,0	22,3	22,6	22,9	23,2	23,5	23,8	24,2	24,5	24,8	W/m
30	25,1	25,5	25,8	26,1	26,5	26,8	27,2	27,5	27,9	28,3	W/m
40	28,6	29,0	29,4	29,7	30,1	30,5	30,9	31,3	31,7	32,1	W/m
50	32,5	32,9	33,3	33,7	34,1	34,5	34,9	35,4	35,8	36,2	W/m
60	36,7	37,1	37,6	38,0	38,5	38,9	39,4	39,8	40,3	40,8	W/m
70	41,3	41,8	42,2	42,7	43,2	43,7	44,2	44,7	45,3	45,8	W/m
80	46,3	46,8	47,4	47,9	48,4	49,0	49,5	50,1	50,6	51,2	W/m
90	51,8	52,3	52,9	53,5	54,1	54,7	55,3	55,9	56,5	57,1	W/m

Bei einer Hohlraumstrahlung müßten diese Werte verdoppelt werden.

Die konvektive Wärmeleistung q_{Lc} einer Rohrleitung wird bei laminarer Strömung nach [6]:

$$(6) \quad q_{Lc} = 3,84 \cdot (\Delta\vartheta)^{1,25} \cdot d^{0,75} \quad (\text{W/m})$$

für $d = 0,018 \text{ m}$ wird dann:

$$(6a) \quad q_{Lc} = 0,189 \cdot (\Delta\vartheta)^{1,25} \quad (\text{W/m})$$

Die Tabelle 4 enthält die konvektiven Wärmeleistungen einer Rohrleitung nach Formel (6a):

Tabelle 4: Die konvektive Wärmeleistung q_{Lc} von Verteilungsrohren in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ (K) (Übertemperatur)

$\Delta\vartheta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--

0	0	0,2	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,9	W/m
10	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,0	6,5	7,0	7,5	W/m
20	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,6	11,1	11,6	12,2	12,7	W/m
30	13,3	13,8	14,4	14,9	15,5	16,1	16,7	17,2	17,8	18,4	W/m
40	19,0	19,6	20,2	20,8	21,4	22,0	22,6	23,3	23,9	24,5	W/m
50	25,1	25,8	26,4	27,0	27,7	28,3	29,0	29,6	30,3	30,9	W/m
60	31,6	32,2	32,9	33,5	34,2	34,9	35,6	36,2	36,9	37,6	W/m
70	38,3	39,0	39,6	40,3	41,0	41,7	42,4	43,1	43,8	44,5	W/m

Die gesamte Wärmeleistung von Verteilungsrohren ergibt sich aus q_{Lr} und q_{Lc} :

$$(7) \quad \Sigma q_L = q_{Lr} + q_{Lc} \quad (\text{W/m}^2)$$

Beispiel:

Bei einer Raumlufttemperatur von $\vartheta_i = 18^\circ\text{C}$ und einer Temperatur der Rohrleitung von $H_m = \vartheta_{si} = 35^\circ\text{C}$ wird $\Delta\vartheta = 17\text{ K}$ und damit:

$$\begin{aligned} \text{nach Tabelle 3 } (\vartheta_{si} = 35^\circ\text{C}): & \quad q_{Lr} = 26,8 \text{ W/m} \\ \text{nach Tabelle 4 } (\Delta\vartheta = 17\text{ K}): & \quad \underline{q_{Lc} = 6,5 \text{ W/m}} \\ & \quad \Sigma q_L = 33,3 \text{ W/m} \end{aligned}$$

Bei diesem Beispiel einer gewählten mittleren Heiztemperatur von 35°C und einer Raumlufttemperatur von 18°C wird dann die zusammengefaßte Wärmeleistung aus Strahlplatte und Rohr:

$$\begin{aligned} \text{für die Strahlplatte:} & \quad \Sigma q = 525 \text{ W/m}^2 \\ \text{für das Verteilungsrohr:} & \quad \Sigma q_L = 33,3 \text{ W/m} \end{aligned}$$

Die offiziellen Wärmeleistungen

Die Wärmeleistung von Strahlungsheizungen wird in der praktizierenden Heiztechnik wie folgt beschrieben:

$$(8) \quad q = C \cdot (\Delta t)^n \quad \text{W/m}^2$$

In Anlehnung an die klassische Wärmelehre geht man von einer zur Übertemperatur Δt (fast) proportionalen Wärmeleistung aus. Dies ist nach "Stefan-Boltzmann" unzulässig.

Beispielhaft werden einige "Ergebnisse" aufgelistet:

Tabelle 5: Wärmeleistungen q von Strahlungsheizungen nach "offiziellen Prüfmethode".

C	n	Δt	5	10	15	20	25	30	35	40	K
1,5281	1,3	q	12,4	30,5	51,7	75,1	100,3	127,2	155,4	184,9	W/m ²
5,486	1,11	q	32,7	70,7	110,8	152,5	195,4	239,3	283,9	329,3	W/m ²
4,0743	1,034	q	21,5	44,1	67,0	90,2	113,6	137,2	160,9	184,7	W/m ²
8,333	1	q	41,7	83,3	125,0	166,7	208,3	250,0	291,7	333,3	W/m ²
6,667	1	q	33,3	66,7	100,0	133,3	166,7	200,0	233,3	266,7	W/m ²

Die ersten drei Zeilen stammen aus Prüfberichten anerkannter Institute, die beiden letzten Zeilen aus einem Entwurf für eine österreichische Strahlungsnorm.

Die Werte der Tabelle 5 sind in der Abbildung 2 grafisch dargestellt.

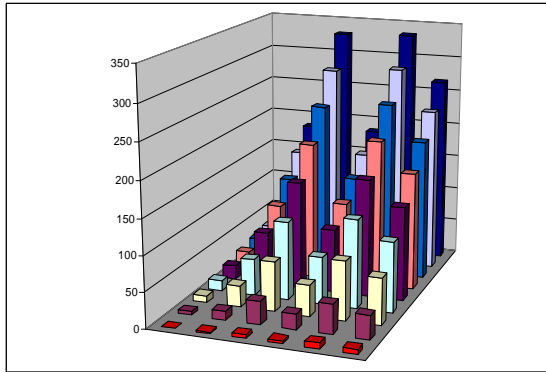


Abb. 1: Fehlerhafte Bewertung von Wandstrahlungsheizungen

Es wird erkennbar, daß bei den "geprüften" Leistungsangaben von Wandstrahlungsheizungen gegenüber einer Halbraumstrahlung rund 400 bis 500 W/m² unterschlagen werden. Diese "Handhabung" ist nicht hinzunehmen, der optische Vergleich in der Abbildung 2 und auch die Werte der Tabelle 1 sind überzeugend. Die Benachteiligung der Strahlungsheizung in Theorie und Praxis ist offenkundig. Insofern braucht man sich nicht zu wundern, daß Strahlungsheizungen nicht die Bedeutung erlangen können, die sie verdienen.

Literatur:

- [1] Meier, C. (Hrsg.): Wärmeschutzplanung für Architekten und Ingenieure. Rudolf Müller Verlag, Köln 1995, 2 Bände mit insgesamt ca. 1800 Seiten (wird nicht mehr ausgeliefert).
- [2] Meier, C.: Humane Wärme. Strahlungswärme als energiesparende Heiztechnik. bausubstanz 1999, H. 3, S. 40.
- [3] Meier, C.: Richtig bauen – Bauphysik im Widerstreit – Probleme und Lösungen. Renningen-Malmsheim: expert verlag, 3. Auflage 2004, 271 Seiten. ISBN: 3-8169-2394-1
- [4] Meyers Enzyklopädisches Lexikon. Bibliographisches Institut Mannheim, Wien Zürich 1971.
- [5] Meyers Lexikon "Technik und exakte Naturwissenschaften". Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich 1970.
- [6] Raiß, W.; Bradtke, F.: H. Rietschels Lehrbuch der Heiz- und Lüftungstechnik. Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg 1958, 13. Auflage.