

Ing. Kurt Schmidt Ingenieurbüro Würkertstraße 15 04107 Leipzig	Energiebedarf in Räumen (1)	2013-04-20
--	------------------------------------	------------

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Richter
Ing. Kurt Schmidt

Strahlungsberechnung für Infrarot-Flächenheizkörper zur Raumheizung

Infrarot-Flächenheizkörper werden wegen ihrer Gebrauchseigenschaften und der damit verbundenen energetischen Vorteile (siehe z. B. [5]) zunehmend eingesetzt. Im Unterschied zu anderen Heizsystemen erfolgt bei einer Strahlungsheizung der Transport von Wärmeenergie ohne einen materiellen Träger (Luft oder Wasser), sondern nur durch elektromagnetische Strahlung. Die Unterschiede werden kurz skizziert. Davon ausgehend wird auf Basis der Stefan-Boltzmann-Beziehung eine einfache Gleichung entwickelt, mit welcher die reine Strahlungsleistung berechnet werden kann. Beispiele runden das Ergebnis ab.

Wärmeübertragung und Raumheizung

Alles Leben auf der Erde beruht auf Umsetzungsprozessen von Energie. Allen diesen Prozessen ist gemeinsam, dass sie nicht verlustfrei erfolgen. Auch jedes Lebewesen benötigt zur Erhaltung des Zellstoffwechsels, der Körpertemperatur und der Bewegungsarbeit eine bestimmte Energiemenge. Andererseits werden die dabei im Körper entstehenden Verluste als Strahlung, durch Konvektion, über die Transpiration, die Atmung und über Ausscheidungen abgegeben. Dieser Energiehaushalt ist nur in einem sehr engen Bereich um die 20°C ausgeglichen – Bekleidung und ggf. erwärmte Behausungen machen das Leben in den gemäßigten Breiten erst behaglich [3].

Behaglichkeit wird durch einen ganzen Komplex von Umgebungsgrößen definiert, wobei Wärme eine wichtige, aber nicht die einzige ist (dazu kommen Feuchte, Staub, Gerüche ...). Die Erwärmung eines Raumes besorgen Heizquellen, von denen der Wärmetransport ausgeht. Generell kann Wärmeenergie auf drei Arten transportiert werden: durch Wärmeleitung (Beispiel: LötKolben), mittels eines Trägermediums (warmes Wasser, warme Luft) oder durch elektromagnetische Strahlung. Letztere hat den unschlagbaren Vorteil, dass zum Transport kein Wärmeträger benötigt wird, d. h. auch im Vakuum funktioniert - so beruht der Energietransport Sonne – Erde ausschließlich auf elektromagnetischer Strahlung.

In **Bild 1** sind die drei Hauptarten einer Raumerwärmung schematisiert dargestellt. Dabei stellt sich heraus, dass nur die Strahlungsheizung eine nahezu homogene Temperaturverteilung im Raum herstellen kann, ganz abgesehen von unangenehmen Begleiterscheinungen wie Staubaufwirbelungen usw.

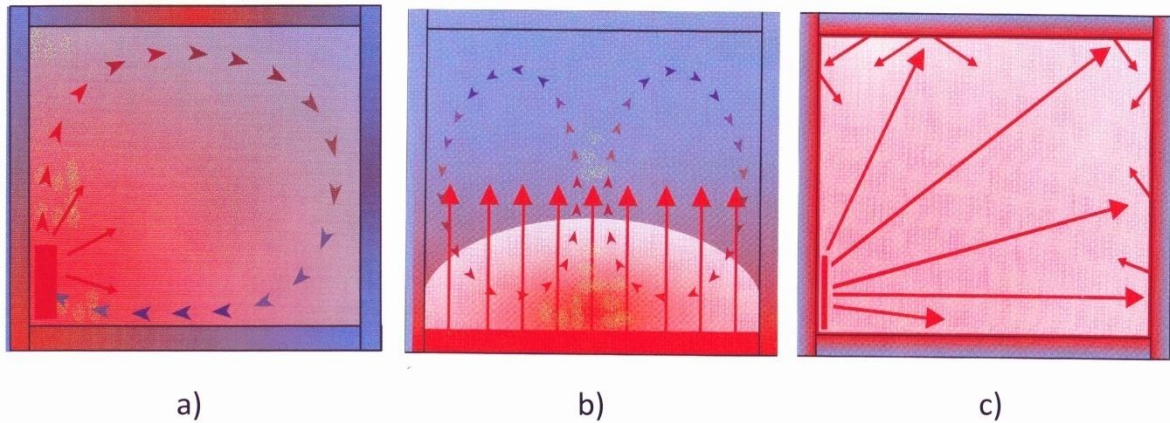


Bild 1: Grundtypen der Raumheizung (aus [4])

a) Konvektionsheizung b) Fußbodenheizung c) Strahlungsheizung

Die in den Fällen a) und b) entstehenden Luftumwälzungen führen Staub mit sich, während im Fall c) durch passive Rückstreuungen ein nahezu homogenes Temperaturfeld aufgebaut wird (Prinzip „warme Wand“)¹

Bei einer Heizung im Wohn- und Bürobereich erfolgt die Wärmeabgabe an die Umgebung sowohl konvektiv als auch durch Strahlung. Wärmeleitung ist am Umwandlungsvorgang zwar beteiligt (Beispiel: Wärmeübergang vom Heizleiter zum mineralischen Heizkörper), ist für den Gesamtprozess aber vernachlässigbar.

Wie bekannt, strömt bei Konvektion ein bewegtes Medium (Flüssigkeit oder Gas) entweder an einem festen Körper vorbei oder ein Medium strömt an einem festen Körper vorbei (z. B. Luft an einer Platte), d. h. die Teilchen bewegen sich relativ zueinander. Wärmestrahlung ist dagegen ein Energietransport durch elektromagnetische Wellen. Die Wärmeübertragung erfolgt dort von einem Körper zum anderen ohne materielle Träger.

Konvektion

Technisch-physikalische Prozesse laufen stets unter konkreten Bedingungen in einer bestimmten Umgebung ab. Bei einer mathematischen Beschreibung müssen diese Einflüsse berücksichtigt werden. Bei einer Betrachtung des Wärmeübergangs wird das besonders deutlich: die exakte Berechnung konvektiver Strömungsvorgänge erfordert die Einbeziehung vieler nichtlinear wirkender Einflussgrößen, was eine numerische Lösung der entsprechenden Gleichungen ziemlich erschwert. Eine übliche und äußerst effektive Methode ist die Reduzierung auf begrenzte Wertebereiche und die Modellbildung unter Verwendung von Verhältniszahlen (z. B. Reynolds-, Nußelt- oder Prandtl-Zahlen).

¹ Das Prinzip der „warmen Wand“ besagt, dass die Wandtemperaturen höher sind als die Umgebungsluft, während bei einer „kalten Wand“ der Körper nach der Wand hin „entwärmt“ – ein Effekt, der in jedem ausgekühlten Gebäude trotz Heizung spürbar wird.

Eine ingenieurtechnisch brauchbare Beschreibung für einen Wärmetransport durch Konvektion unter definierten Bedingungen ist das Produkt aus Wärmestromdichte q mal Fläche A :

$$P_{Konv} = q \cdot A. \quad (1)$$

Die Wärmestromdichte ergibt sich aus

$$q = \alpha_{Konv} (T_{Ofl} - T_U). \quad (2)$$

Darin sind q die abgegebene Leistung pro Flächeneinheit (Wärmestromdichte), α_{Konv} der Wärmeübergangskoeffizient für den konvektiven Fall, und T_{Ofl} und T_U sind die Temperaturen der Oberfläche bzw. die der Umgebung. Für einen flächenhaften Heizer in Wandnähe gilt das Modell „senkrechte Platte in ruhender Luft“. Eine einfache Näherungsbeziehung für den Wärmeübergangskoeffizienten in diesem Fall lautet (aus [2]):

$$\alpha_K = 1,6 \cdot |\Delta t|^{0,3} \quad (3)$$

Darin ist Δt die Temperaturdifferenz zwischen der Umgebungstemperatur und der Temperatur der Plattenoberfläche. Diese Näherung ist nur in einem begrenzten Bereich gültig². Werte für Oberflächentemperaturen eines Flächenstrahlers zwischen 30 und 120 °C sind in Tabelle 1 (Seite 9) aufgelistet. **Bild 2** vermittelt einen Eindruck über die Vielfalt der Einflussgrößen und deren Auswirkungen.

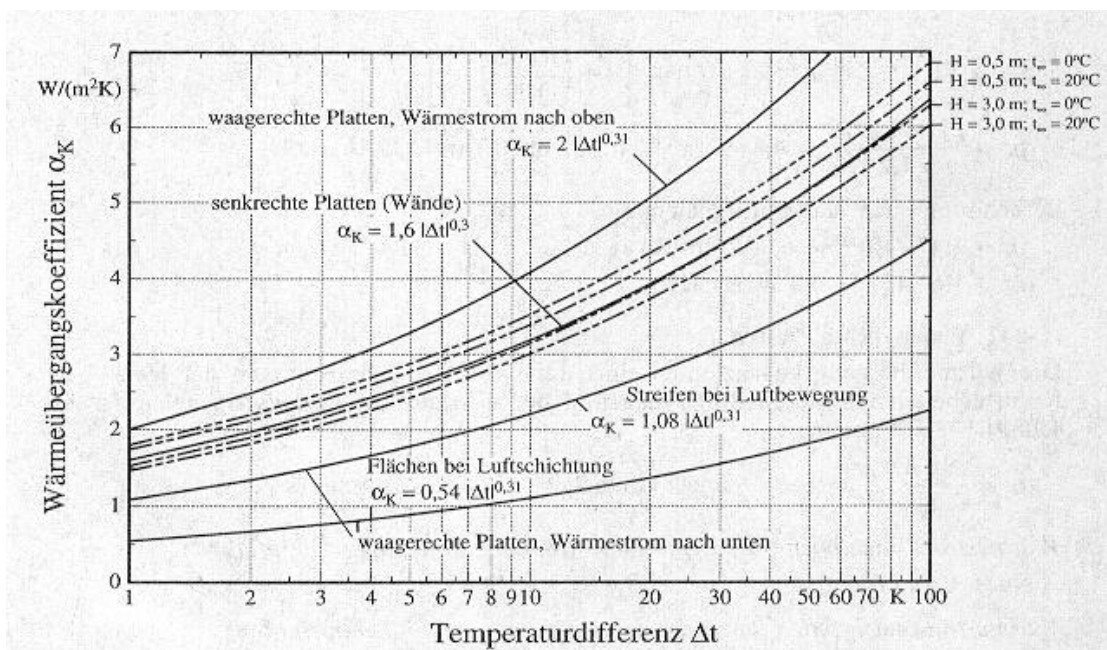


Bild 2: Wärmeübergangskoeffizienten an senkrechten Platten (aus [2])

² Diese Näherungsbeziehung ist eine Approximation aus der Nußelt-Gleichung und ist anwendbar für turbulente Strömung in einer Umgebungstemperatur bis 20 °C und für eine Höhe der strahlenden Fläche zwischen 0,5 und 3 Meter [2]. Für andere Bedingungen gelten entsprechend andere Näherungen.

Strahlung

Die Sonne ist die zentrale Energiequelle für unser Planetensystem. Es ist bekannt, dass das Strahlungsspektrum der Sonne ein ausgeprägtes Maximum im Bereich des sichtbaren Lichts aufweist, und dass seitlich dieses Maximums die spektrale Bestrahlungsstärke stark abfällt. Außerdem erreichen nicht alle spektrale Anteile die Erdoberfläche – einige werden mehr oder weniger stark durch verschiedene atmosphärische Einflüsse gedämpft [1] [2]. In **Bild 3** ist der uns hier interessierende Bereich als Ausschnitt aus dem elektromagnetischen Wellenspektrum eingetragen.

Der größte Teil der von der Sonne ausgehenden Strahlungsenergie wird in dem Bereich zwischen 0,2 und 4 μm Wellenlänge übertragen. Davon entfallen rund 44 % der Gesamtenergie auf den relativ schmalen Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts. Das ist der Bereich zwischen 0,38 und 0,78 μm Wellenlänge³ ⁴. Es ist also kein Zufall, dass hier die Sonnenenergie über die Photosynthese in Pflanzenwachstum umgewandelt wird. Auch ist der Gesichtssinn dort angesiedelt – die Rezeptoren der Netzhaut sind also auf „maximale Empfangsenergie“ adaptiert!

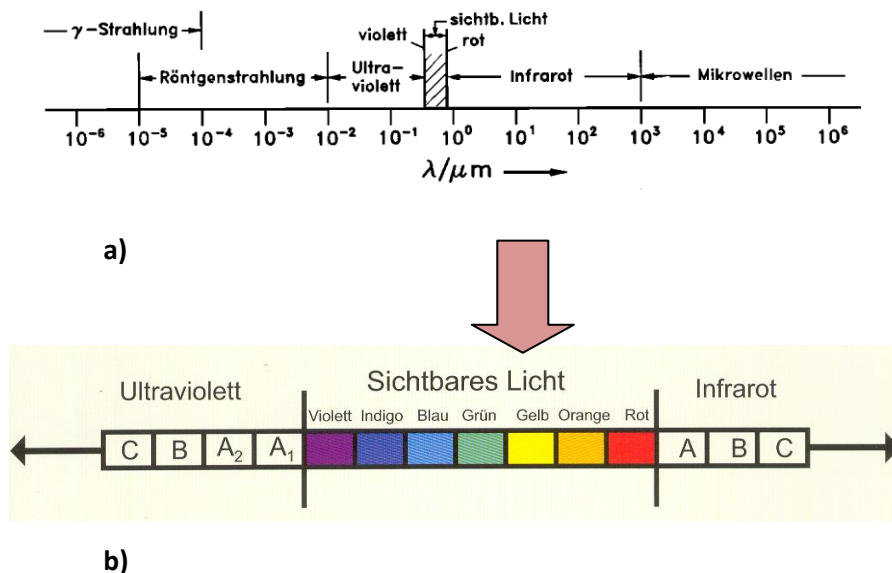


Bild 3: Ausschnitt aus dem elektromagnetischen Wellenspektrum
 a) Bereich über 12 Zehnerpotenzen (aus [2])
 b) Ausschnitt mit den üblichen Bezeichnungen (nicht maßstabgetreu)⁵

³ Weitere drei Prozent der auftreffenden Gesamtenergie sind ultraviolette Strahlen, und alle infraroten Strahlen zusammengenommen (0,8 bis 1000 μm Wellenlänge in Bild 1) umfassen 53 % der Gesamtenergie [3].

⁴ Die außerhalb des sichtbaren Bereichs liegenden Wellenlängen wurden von Astronomen entdeckt (1801: *F. W. Herschel*, Infrarot; 1802: *J. W. Ritter*, Ultraviolett).

⁵ so findet man z. B. die Bezeichnung *nahes*, *mittleres* und *fernes* Infrarot, was sich auf die Distanz zum sichtbaren Licht bezieht, und weitere unterschiedlich benannte Grenzen. Eindeutig ist nur die Angabe der Wellenlänge.

Seltener wird erwähnt, dass neben dem Bereich des sichtbaren Lichts ein zweiter Bereich im Strahlungsspektrum für das Leben auf der Erde von existentieller Bedeutung ist: der Bereich empfundener Wärmestrahlung, das sind Wellenlängen um $8,5 \mu\text{m}$. Diese Bedeutung resultiert aus einer komplizierten Wechselwirkung der auf die Erde auftreffenden Gesamtstrahlung mit dem globalen Gesamtsystem *Atmosphäre* + *Hydrosphäre* (Ozeane, Gewässer) + *Kryosphäre* (Eis- und Schneeflächen) + *Lithosphäre* (Festland) + *Biosphäre* (Pflanzen, Lebewesen). Vereinfacht gesagt führen alle diese Wechselwirkungen zu einer Erwärmung des globalen Systems Erde + Atmosphäre, wobei die Atmosphäre sowohl in den Weltraum als auch eine auf die Erdoberfläche gerichtete Strahlung abgibt.

Dieser zweite Anteil heißt *atmosphärische Gegenstrahlung* und übertrifft den direkt von der Sonne stammenden Anteil in diesem Wellenlängenbereich um rund zwei Zehnerpotenzen (!), wie folgende Gegenüberstellung zeigt (berechnet nach Angaben in [1]):

- bei der Wellenlänge $\lambda = 9,8 \mu\text{m}$ beträgt die spezifische Bestrahlungsstärke des Systems Erde + Atmosphäre durch die Sonne $E_\lambda = 2,8 \cdot 10^{-1} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$,
- bei der gleichen Wellenlänge beträgt die langwellige Ausstrahlung des Systems Erde + Atmosphäre $M_\lambda = 3 \cdot 10^1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$.

Die langwellige Ausstrahlung des Systems Erde + Atmosphäre heißt *terrestrisches Infrarot*. Sie ist nicht überall gleich; bei klarem Himmel ist sie größer als bei Bewölkung, schwankt nach Ort und Tageszeit usw. Im Mittel ist die Intensität des terrestrischen Infrarot aber rund 50-mal größer (!) als der solare Anteil. Ein energetischer Vergleich mit der direkten Sonnenstrahlung ist also nur für den sichtbaren Bereich sinnvoll.

Die üblichen Diagramme zur Veranschaulichung der Strahlungsgesetze (Kirchhoff, Wien, Planck) müssen die extrem große Abhängigkeit der Strahlungsenergie von der vierten Potenz der Kelvin-Temperatur berücksichtigen. Der Gesamtbereich ist nur in doppeltlogarithmischer Darstellung überschaubar. Dadurch ist die anteilige Verteilung der Energie auf den uns interessierenden Bereich des langwelligen Infrarot (d. h. um $8,5 \mu\text{m}$ Wellenlänge) nur bedingt erkennbar (**Bild 4**). Unterschiede der Leistungsdichte lassen sich aus dieser Darstellung aber gut ablesen: sie betragen zwischen 5777 K (mittlere Oberflächentemperatur der Sonne) und 300 K (eine Umgebungstemperatur von 27°C) rund sieben Zehnerpotenzen!⁶

⁶ Damit ist auch anschaulich erklärt, dass bei Annäherung an einen Strahler mit hoher Temperatur schnell ein unangenehmes Hitzegefühl auslöst wird. Bei einem Flächenstrahler mit beispielsweise 90°C Oberflächentemperatur wird die Strahlung dagegen über eine größere Fläche verteilt abgegeben, was für die Anwendung von großer Bedeutung ist.

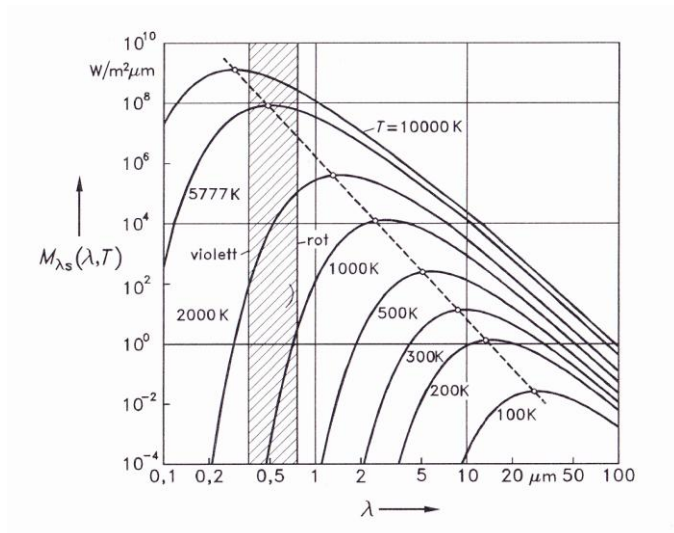


Bild 4: Plancksches Strahlungsgesetz in doppeltlogarithmischer Darstellung

Die durch das Wiensche Verschiebungsgesetz beschriebene temperaturabhängige Verschiebung der Wellenlänge maximaler Ausstrahlung (im Bild 4: gestrichelte Linie) zeigt aber auch, dass im Bereich unserer Umgebungstemperatur (ca. 300 K) die Wärmestrahlung ein Maximum hat.

Wie aus der medizinischen Fachliteratur bekannt ist, wird speziell das langwellige Infrarot direkt in den obersten Schichten der Haut (und nur dort) absorbiert. Den Anteil dieser Wellenlängen an der Gesamtstrahlung in diesem Bereich erhält man durch Normierung des wellenlängenabhängigen Anteils auf die maximale Strahlungsleistung. **Bild 5** zeigt das deutlich: Niedertemperaturstrahler liefern weitgehend nur IR-C.

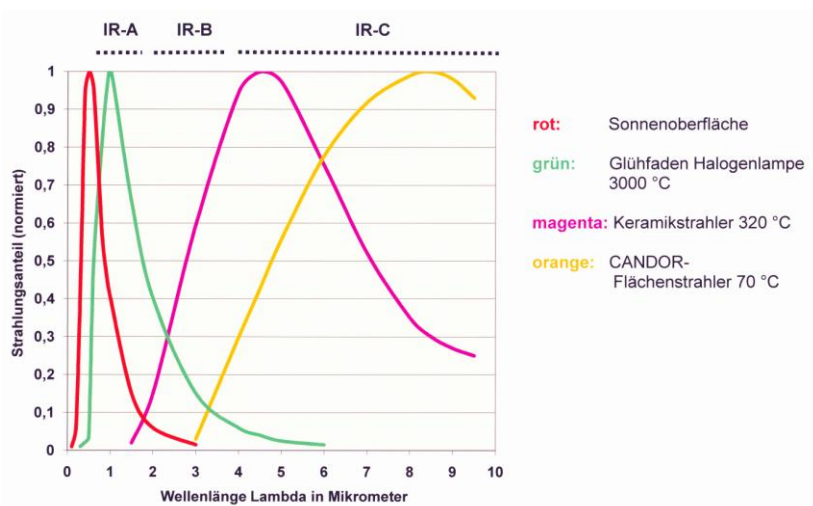


Bild 5: Anteil an Infrarot-C, normiert auf die spektrale maximale Leistung

Die von einer strahlenden Fläche emittierte Strahlungsenergie lässt sich theoretisch exakt aus den Strahlungsgesetzen (*Stefan-Boltzmann*, *Wien*, *Planck*) herleiten. Sie wird ganz wesentlich von der Strahler-Temperatur bestimmt und steigt mit der vierten Potenz seiner absoluten (Kelvin-) Temperatur. Diesen Zusammenhang beschreibt das *Stefan-Boltzmann-Gesetz*:

$$\dot{e}_{ges} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad \text{in W/m}^2. \quad (4)$$

Darin sind \dot{e}_{ges} die Gesamtstrahlungsenergie je Flächeneinheit der emittierenden Fläche, σ die Strahlungskonstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$, ε die Emissionszahl und T die Temperatur in Kelvin.

Über die Emissionszahl ε üben also auch Materialeigenschaften (Beschaffenheit der Oberfläche) Einfluss auf die Strahlungsintensität (abgestrahlte Leistung pro Flächeneinheit, also W/m^2) aus.

Die Strahlungsenergie ist allerdings nicht gleichmäßig über den Wellenlängenbereich verteilt, sie hat vielmehr ein für die Strahlungstemperatur charakteristisches Maximum bei einer bestimmten Wellenlänge⁷. Diese Wellenlänge steht ihrerseits in direktem Zusammenhang mit der Oberflächentemperatur des Strahlers.

$$\lambda_{max} \cdot T = 2896 \cdot K. \quad (5)$$

Damit ist durch einfache Rechnung zwar die Wellenlänge des Strahlungsmaximums aus der Oberflächentemperatur ermittelbar, aber nicht die abgestrahlte Leistung.

Gl. (4) beschreibt die Gesamtstrahlungsenergie je Flächeneinheit. Soll also eine bestimmte (elektrische) Leistung in elektromagnetische Strahlung umgesetzt werden, so kann das mit einer kleinen Fläche (Glühlampe, aber kleinere Wellenlängen und damit hohe Temperaturen, z. T. sichtbares Licht) oder aber mit großer Fläche (Flächenheizung, größere Wellenlänge und damit niedrigere Temperaturen) erfolgen⁸.

Weiter kann gemäß dem zweiten Hauptsatz Energie nur vom wärmeren zum kälteren Körper übergehen. Für den Strahlungswärmefluss zu einem Empfänger ist also nur der Teil wirksam, welcher über der Umgebungstemperatur liegt. Zur Ermittlung dieses Anteils ist die Differenz zwischen der Strahlungsenergie für die erreichte Oberflächentemperatur und der der Umgebung⁹ (z. B. bei 20 °C, d. h. 293 K) zu bilden:

$$\Delta \dot{e} = \dot{e}_{off} - \dot{e}_U. \quad (6)$$

⁷ Diese Zusammenhänge beschreibt das *Planck'sche Strahlungsgesetz* (Max Planck, 1900). Dessen Herleitung ist in der Fachliteratur nachzulesen (z. B. [1]).

⁸ Die genannten Gesetze gelten exakt nur für den „Schwarzen Strahler“. Schwarze Strahler sind Körper, die Energie ideal mit dem Emissionsfaktor $\varepsilon = 1$ emittieren. Reale Strahler („graue Strahler“, Lambert-Strahler) haben Emissionsfaktoren < 1 . Blanke Metalloberflächen sind schlechte Emittenden, dafür aber sehr gute Reflektoren wie z. B. poliertes Aluminium mit $\varepsilon = 0,045$.

⁹ Das Verfahren ist in [1] ausführlich dargestellt und wird hier nicht wiedergegeben.

Für Überschlagsrechnungen wäre eine Beziehung für Strahlung ähnlich Gln. (1) und (2) wünschenswert, also mit einem ähnlich definierten *Strahlungsübergangskoeffizienten*. Ein solcher Koeffizient lässt sich aus der *Stefan-Boltzmann-Gleichung* (4) herleiten. Durch mehrere Umformungen entsteht folgender Ausdruck:

$$\dot{e} = \sigma \varepsilon \underbrace{(T_{OfI}^2 + T_U^2)(T_{OfI} + T_U)}_{\text{markierter Teil}} (T_{OfI} - T_U)$$

Darin lässt sich der markierte Teil der rechten Seite der Gleichung zu einem Koeffizienten α_{St} zusammenfassen:

$$\alpha_{St} = \sigma \cdot \varepsilon (T_{OfI}^2 + T_U^2)(T_{OfI} + T_U) \quad (7)$$

und damit die Strahlungsleistung sofort aus gemessenen Werten ermitteln:

$$P_{St} = \alpha_{St} (T_{OfI} - T_U) A. \quad (8)$$

Der Faktor α_{St} („Strahlungsübergangskoeffizient“) ist mit Gl. (7) zu berechnen¹⁰. Ein Vergleich zeigt, dass Gl. (8) eine der Gl. (1) entsprechende Aussage trifft.

Wärmeübergangskoeffizienten für ausgewählte Wertepaare

Die traditionelle Raumheizung beruht auf der Umwälzung eines Wärmeträgers (Wasser) durch ein Rohrsystem zu Wasser-Luft-Wärmetauschern (Konvektoren) unterschiedlicher Bauart. Von der möglichst großen Oberfläche der Konvektoren¹¹ wird die vorbeiströmende Luft konvektiv erwärmt und im Raum verteilt (siehe Bild 1a).

Flächenstrahler emittieren Infrarot-Strahlung, durch Mehrfachreflektion an Gegenständen und Wänden wird die Strahlung Raum verteilt und zugleich von den Gegenständen absorbiert (siehe Bild 1c).

Da eine warme, senkrecht stehende, Infrarot emittierende Fläche aber auch einen konvektiven Beitrag leistet, ist die Ermittlung beider Anteile von Bedeutung für das Heizungsproblem insgesamt¹².

Für die für Flächenheizer typischen Einsatzbereiche (Umgebungstemperatur 20°C, senkrecht stehende Platte, ruhende Luft) wurden deshalb aus den Gln. (3) und (8) Wertepaare ermittelt (**Tabelle 1**).

¹⁰ Für die meisten Anwendungen genügen ε -Werte zwischen 0,9 und 0,95.

¹¹ zum Beispiel durch zusätzliche Verrippungen zwischen zwei Plattenkörpern

¹² Nach gängiger Praxis gilt der Begriff „Flächenheizung“ erst ab einem Strahlungsanteil größer 50 Prozent. Auch ein Konvektor emittiert Strahlung entsprechend seiner Temperatur.

Tabelle 1: Wertepaare für Wärmeübergangskoeffizienten
(ermittelt für $T_U = 20^\circ\text{C} = 293\text{ K}$)

$T_{\text{Ofl}} [^\circ\text{C}]$	$T_{\text{Ofl}} - T_U [\text{K}]$	$\alpha_K [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$	$\alpha_{\text{St}} \text{ für } \varepsilon = 0,9 [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$	$\alpha_{\text{St}} \text{ für } \varepsilon = 0,95 [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
30	10	2,77	5,4	5,70
40	20	3,02	5,67	6,00
50	30	3,23	5,98	6,31
60	40	3,42	6,28	6,63
70	50	3,58	6,61	6,97
80	60	3,72	6,94	7,32
90	70	3,86	7,28	7,69
100	80	3,98	7,65	8,07
110	90	4,10	8,02	8,47
120	100	4,20	8,62	9,10
130	110	4,31	9,03	9,53

Mit steigender Oberflächentemperatur eines Strahlers wächst auch der abgestrahlte Energiebetrag und zwar mit der dritten Potenz der absoluten Temperatur, während bei Konvektion (α_{Kon}) der Energiebetrag nur mit der 3. Wurzel aus der Temperaturdifferenz ansteigt. Dieser Unterschied wird noch deutlicher bei höheren Oberflächentemperaturen, die aber im Wohnbereich nicht angewendet werden (können).

Die Wärmeübergangskoeffizienten für Konvektion und Strahlung sind bereits im Raumtemperaturbereich unterschiedlich: mit Strahlung wird mehr Wärmeenergie an die Umgebung abgegeben als mit Konvektion. Voraussetzung ist natürlich, dass die Oberflächen der Strahler eine Emissionszahl in der Nähe von Eins aufweisen, Der ideale „schwarzen Körper“ der Theorie hat eine *Emissionszahl* gleich Eins. Bei realen Körpern sind die Absorptions- und Emissionsgrade kleiner Eins, liegen aber für viele (mit *nicht* glänzender Oberfläche) in der Nähe von Eins, was auch für Oberflächen der Fall ist, welche Infrarot nicht reflektieren. Normales Fensterglas reflektiert beispielsweise im Infrarotbereich nur wenig, absorbiert dagegen stark (Treibhauseffekt!). In **Tabelle 2** sind typische Emissionszahlen aufgeführt.

Tabelle 2: Emissionszahlen verschiedener Oberflächen

Material	Emissionszahl
Papier	0,92 ... 0,94
Holz	0,90 ... 0,91
Ziegelstein, rot	0,93
Ölfarbe, weiß, bei 93 °C	0,94
Wasser, Eis Reif	0,92
menschliches. Gewebe	0,95

Ausführungsbeispiele

Elektrisch angeregte Flächenstrahler sind im Prinzip gleich aufgebaut (**Bild 6**): dicht unter einer ggf. dekorativ gestalteten Oberfläche ist ein Folienheizer angeordnet. Dieser besteht aus einem Faserverbund aus Mineral- und Kohlenstoff und ist – elektrisch gesehen – ein flächenhafter Leiter, dessen Stromzuführung über seitlich einlamierte dünne Kupferbänder erfolgt. Dahinter wird eine Wärmedämmschicht aufgebracht, um einen Wärmestrom zur Rückseite hin weitgehend zu unterbinden. Durch diese Anordnung wird Strahler zu einem Halbraumstrahler, d. h. es strahlt (weitgehend) nur die Frontseite. Dieses Grundprinzip wird vom Hersteller je nach Bauart variiert (siehe Tabelle 3).

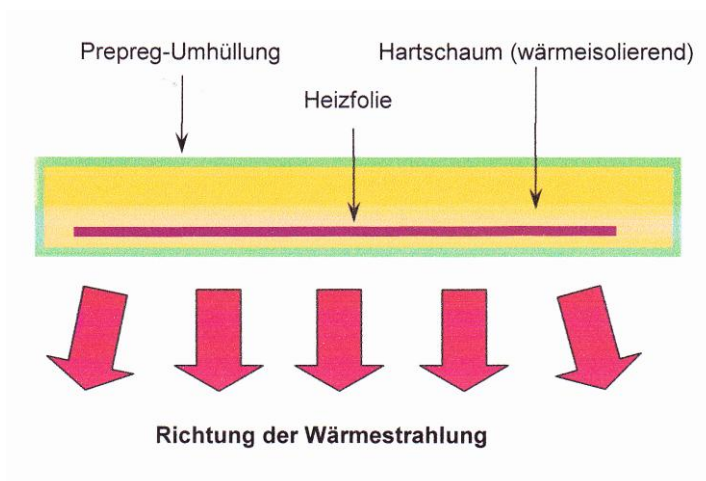


Bild 6: Aufbau eines Flächenstrahlers (SMT)

Für zwei industriell gefertigte Flächenstrahler gleicher Baugröße wurden gemäß den obigen Vorschriften Leistungswerte rechnerisch ermittelt. Zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen Ausführungen sind sie flächenbezogen aufgelistet. Sie wurden durch Messungen überprüft (siehe auch [5]). Die Nenndaten der Strahler sowie die berechneten Werte sind in **Tabelle 3** zusammengefasst.

Tabelle 3: Kenndaten und Werte

Typ		SMT 550	CANDOR 900
Ausführung		Hartschaum-Verbund, 20 mm stark (Aufbau ähnlich Bild 6)	Metallkassette (Wärmeisolierung: Isotherm)
Abmessungen	mm	1200 x 600 x 20	1200 x 600 x 30
emittierende Fläche	m ²	0,62	0,62
Leistung (Nennwert)	W	550	900
Oberflächentemperatur	°C	85	120
Oberflächenstruktur		Akryl matt	Akryl
Emissionszahl ϵ		0,95	0,9
flächenbezogene Wärmeabgabe als Strahlungsleistung <i>nach vorn</i>	W/m ²	478	765
<i>nach hinten</i>	W/m ²	57	126
Strahlungsleistung gesamt	W/m ²	535	891
elektrische Leistungsaufnahme ge- samt (flächenbezogen)	W/m ²	887	1452
Strahlungswirkungsgrad η_{Str} (Ver- hältnis Strahlung zu elektr. Leis- tungsaufnahme)		0,60	0,62

Beim Vergleich der betrachteten Flächenstrahler ist zu beachten, dass nach hinten, also auf der Rückseite, möglichst wenig Wärme abgeführt wird¹³. Diese Idealisierung wird durch eine gute Wärmedämmschicht ($\lambda = 0,04$ W/m·K) weitgehend erfüllt (berechneter k-Wert = $0,86$ W/m²·K). Bei direktem Kontakt mit der Bauwerkswand und idealer Wärmedämmung geht nur wenig Wärmeleistung in die Wand über. Je nach konstruktiver Auslegung, Materialwahl und den örtlichen Bedingungen können spürbare Unterschiede auftreten.

¹³ Kommentar zu den CANDOR-Werten: wegen des Wandabstands (40 mm) geht hier ein weiterer Teil der zugeführten Leistung als Konvektion (Kaminwirkung!) über die Rückseite ab, während bei SMT die Heizplatte dicht anliegt.

Generalisiert lässt sich feststellen, dass unter den Einsatzbedingungen „Raumtemperatur ca. 20 °C, ruhende Luft“ bei Flächenstrahlern gemäß Aufbau Bild 6 von der zugeführten elektrischen Leistung

rund **zwei Drittel als Strahlung** und

etwa **ein Drittel als Konvektion**

abgegeben werden. Mit Flächenstrahlern solcher Ausführungen ausgeführte Heizungen für Wohn- und Büroräume tragen also die Bezeichnung „Strahlungsheizung“ zu Recht.

Die Antwort auf gelegentlich aufgeworfene Fragen, ob ein Flächenstrahler als Halbraum- oder Hohlraumstrahler anzusehen sei, wird durch die Energiebilanz eindeutig beantwortet: ein frei im Raum positionierter Flächenstrahler emittiert sowohl nach vorn wie nach hinten Strahlungs-(und konvektive) Energie, und die muss ihm zugeführt werden. Wird die im obigen Beispiel postulierte ideale Wärmdämmung gänzlich fortgelassen, emittiert auch die Strahler-Rückseite im gleichen Maße und braucht dafür die entsprechende (doppelte) Energiezufuhr.

Literatur

- [1] *Baehr, H. D., und K. Stephan (Hrsg.): Wärme- und Stoffübertragung. Springer Verlag: Berlin Heidelberg New York*
- [2] *Rietschel, H., Esdorn, H. (Hrsg.):Raumklimatechnik, Band 1, Grundlagen. Springer Verlag: Berlin Heidelberg New York*
- [3] *Recknagel / Sprenger / Schramek (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. . Oldenbourg Industrieverlag: München.*
- [4] raum & zeit, ehlers verlag GmbH, Wolfrathshausen
- [5] *Richter, W. und K. Schmidt: Langwelliges Infrarot – Wärmeübertragung mit hoher Energieeffizienz. Vortrag zu den Hochschultagen der Hochschule Lausitz, Nov.2010.
<http://www.hs-lausitz.de/forschung/wissenschaftstage/10-wissenschaftstage.html>*

2013-05-08