



Dynatherm Flächenheizsysteme GmbH



Report Nr. 03b/2013

Vorschlag zur Änderung bzw. Ergänzung der Norm EN 60675 mit dem Ziel der Erhöhung der Transparenz von strahlungsphysikalischen Wirkungen elektrischer Heizgeräte

Auftraggeber: **BVIR Verband Infrarot-Heizung e.V.**
Am Saalehafen 1
06112 Halle

Auftragnehmer: **Dr. Dieter Achilles**
c/o IET GmbH
Institut für angewandte Energietechnologie
Keßlerstraße 27
07745 Jena

Mitwirkung: **Dipl.-Ing. Daniel Krüger**
c/o Dynatherm Flächenheizsysteme GmbH
Holtkamp 4
46414 Rhede

Jena, den 30.9.2013

Inhaltsübersicht

| | |
|---|----|
| 1. Vorbemerkung..... | 3 |
| 2. Bezug zur Gliederung der bisher vorliegenden Norm..... | 3 |
| 3. Ziel der Messung..... | 4 |
| 4. Prüfraum..... | 4 |
| 5. Konditionierung Prüfraum..... | 5 |
| 6. Platzierung des Heizkörpers im Prüfraum | 6 |
| 7. Identifizierung der Flächen für den direkten Strahlungsaustausch | 7 |
| 8. Betriebsbedingungen des Heizkörpers..... | 8 |
| 9. Definition Beharrungszustand | 9 |
| 10. Durchführung der Messungen | 9 |
| 11. Begriffsdefinitionen | 16 |
| 12. Sonstige Messungen..... | 17 |
| 13. Fehlerbetrachtung | 17 |

1. Vorbemerkung

Im Ergebnis der Beratung des BVIR Verband Infrarot-Heizung e.V. am 2.7.2013 in Rhede wird nachfolgender Vorschlag zur Ergänzung bzw. Änderung der Norm DIN EN 60675:1996 in Verbindung mit der Norm DIN EN 60675/A1 mit dem Titel „Elektrische Haushalt-Direktheizgeräte – Prüfverfahren zur Bestimmung der Gebrauchseigenschaft“ formuliert. Es wird damit beabsichtigt, dass ausgewählte Eigenschaften von Strahlungsheizungen klarer und transparenter in dieser Norm abgebildet werden.

2. Bezug zur Gliederung der bisher vorliegenden Norm

In der o.g. Norm werden nachfolgende Messungen beschrieben, mittels derer die Gebrauchseigenschaften bestimmt werden:

- (a) Maße und Gewicht
- (b) Temperaturerhöhung der Luftaustrittgitter bzw. Außenflächen
- (c) (höchste)Temperaturerhöhung der Umgebungsflächen
- (d) Anwärmzeit
- (e) Stabilität der Raumtemperatur
- (f) Nachtabsenkung der Raumtemperatur
- (g) Wirkung der Frostschutzeinrichtung
- (h) Einschaltstrom
- (i) Wirkung der Strahlungswärme
- (j) Messung der nutzbaren Leistung

Es wird vorgeschlagen diese Messungen um eine Weitere zu ergänzen: Messung der wirksamen Infrarotstrahlung bezogen auf den Energieinput (Effizienz).

In der Norm wären damit zu ergänzen:

- **3.16 Strahlungseffizienz** (Begriffserklärung)
- **3.17 wirksame Infrarotstrahlung** (Begriffserklärung)

- **5. Verzeichnis der Messungen** (neu beschriebene Messung auflisten)
- **15. Messung der wirksamen Infrarotstrahlung** (detaillierte Beschreibung)
Der derzeitige Punkt 15 der DIN EN 60675:1995 könnte weitgehend ersetzt werden.

In diesem Vorschlag konzentrieren wir uns zunächst auf die Beschreibung der Messung der Strahlungseffizienz bezüglich der wirksamen Infrarotstrahlung sowie auf die Erklärung o. g. Begriffe.

3. Ziel der Messung

Im Unterschied zu der Messung der Wirkung der Strahlungswärme laut o.g. Norm, Abs. 15, bei der die Erwärmung einer definiert angeordneten Sperrholzplatte gemessen wird, soll hier eine Messung durchgeführt werden, die eine Aussage zum energetischen Austausch über wirksame Infrarotstrahlung zwischen Heizkörper und Raum macht. Es wird dabei angestrebt, den Heizkörper jeweils annähernd so in einem Prüfraum zu positionieren und zu betreiben, wie es auch beim praktischen Einsatz erfolgt. Gleichzeitig soll das Verfahren praktikabel und bezahlbar bleiben, so dass das hier nachfolgend beschriebene Verfahren ein guter Kompromiss aus diesen Ansprüchen darstellt.

4. Prüfraum

Als Prüfraum kann ein möbelfreier Raum in einem massiven Gebäude in mittelschwerer oder schwerer Bauweise mit einem Fensterflächenanteil von weniger als 10% auf alle raumumschließenden Flächen verwendet werden. Weitere Anforderungen an den Raum sind:

- Höhe 2,4...3,0 m
- Breite/Länge mindestens 2,5 m
- Fläche mindestens 12 m² und mindestens $P_{HK}/50$ (P_{HK} = Nennleistung des Heizkörpers in Watt, der gemessen werden soll) Fenster und fest installierte Heizkörper des Prüfraumes müssen bei der Raumkonditionierung und bei der

Messung geeignet abgedeckt werden, z.B. mittels Sperrholz- oder Grobspanplatten (OSB-Platten)

5. Konditionierung Prüfraum

Für die Messung ist der Raum geeignet vorzukonditionieren (heizen, lüften, kühlen etc.). Nach dieser Vorkonditionierung müssen über einen Zeitraum von mindestens 30 min vor Beginn der Aufheizaktivitäten alle nachfolgend genannten Solltemperaturen temperaturmäßig stabil im Bereich $\pm 0,5$ K sein. Folgende Temperaturen sind einzustellen:

- Lufttemperatur 16 ... 24 °C
- Wandtemperatur 16 ... 24 °C
- Fußbodentemperatur 16 ... 24 °C
- Deckentemperatur 16 ... 24 °C
- Temperatur der Abdeckungen für Fenster und Heizkörper 16 ... 24 °C
- Temperatur der Montageplatte (vgl. Abs. 6) 16 ... 24 °C
- Differenz Lufttemperatur vs. Umgebungsflächen max. 2 K
- Erzwungene Be- bzw. Entlüftung ausgeschaltet
- Fenster, Türen, Abzüge geschlossen
- Zugelassene Oberflächenmaterialien für Umgebungsflächen (Wände, Decke, Fußboden) sind: Beton, Mauerwerk, Putz, verklebtes Papier (Tapete), verklebte Textilien, Holzwerkstoffe, Dispersionsfarbe, Lack, verklebte Kunststofffolien und ähnliches,
jedoch kein Metall und keine Metallfolie

6. Platzierung des Heizkörpers im Prüfraum

Die Platzierung soll möglichst so gewählt werden, wie dies auch beim praktischen Einsatz erfolgt. Sind für einen Heizkörper mehrere Einsatzfälle möglich, sind diese getrennt zu messen. Mit Ausnahme frei im Raum stehender oder hängender Heizkörper wird als Montagegrundlage jeweils eine Grobspanplatte (OSB-Platte) mit einer Dicke zwischen 15 und 25 mm gewählt. Die jeweilige Montageplatte soll mindestens 3x länger, breiter bzw. höher sein, als die Maße des Heizkörpers sind, jedoch maximal in der Größe der entsprechenden Umschließungsfläche (Einzelwand, Decke, Fußboden) sein. Die Montage des Heizgeräts erfolgt möglichst mittig entsprechend den Angaben des Herstellers.

Soll die Montageplatte für die Messung in senkrecht stehender Lage genutzt werden, dann reicht eine Breite aus, die 2x die maximalen Außenmaße des Heizkörpers beträgt. Soll die Montageplatte zur Messung direkt an die Wand bzw. direkt an die Decke platziert werden, dann reicht es aus, wenn die Montageplatte mindestens 20 cm auf jeder Seite länger bzw. breiter ist als der Heizkörper.

6.1. Wandgebundene Heizkörper

Wandgebundene Heizkörper werden in der Lage, in dem Abstand und in der Höhe an einer Montageplatte befestigt, wie dies beim praktischen Einsatz zur Gebäudeheizung vorgesehen ist. Die Montageplatte ist senkrecht aufzustellen, parallel zu einer Wand des Prüfraumes auszurichten und in maximal 50 cm vor dieser Wand des Prüfraumes zu stabilisieren. Die Montageplatte darf auch direkt auf eine Wand aufgesetzt werden.

6.2. Deckengebundene Heizkörper

Deckengebundene Heizkörper werden in der Lage, in dem Abstand und in der Höhe an einer Montageplatte befestigt, wie dies beim praktischen Einsatz zur Gebäudeheizung vorgesehen ist. Die Montageplatte ist waagrecht und in maximal 50 cm unterhalb der Decke des Prüfraumes zu stabilisieren, wobei die Unterseite der Montageplatte mindestens in 2,4 m Höhe liegen soll.

6.3. Bauteilintegrierte Heizkörper

Bauteilintegrierte Heizkörper (Fußbodenheizungen, Wandflächenheizungen, Deckenflächenheizungen) sind nicht Gegenstand dieser Norm, eine analoge Anwendung dieses Teils der Norm ist grundsätzlich möglich.

6.4. Freistehende oder freihängende Heizkörper

Freistehende oder freihängende Heizkörper werden in der Lage, in dem Abstand zu den Wänden bzw. zu der Decke befestigt, wie dies beim praktischen Einsatz zur Gebäudeheizung vorgesehen ist. Eine Montageplatte ist nicht zwingend erforderlich. Sollte trotzdem bei den freihängenden Heizkörpern eine Montageplatte zur Aufhängung verwendet werden, gelten die Forderungen gemäß Abs. 6.2.

7. Identifizierung der Flächen für den direkten Strahlungsaustausch

Nicht alle vom Heizkörper abgestrahlte Infrarotleistung wird im eigentlichen Sinn als direkte Strahlungswirkung für den Raum wirksam. Zum Beispiel gehen bei wandgebunden Plattenheizkörpern, die in einem gewissen Abstand von der Wand fixiert werden,

- die Strahlung der Frontfläche vollständig in den Raum,
- die Strahlung der Unterkantenfläche, Oberkantenfläche, Seitenkantenflächen und Rückfläche nur wenig in den Raum.

Ähnliche Betrachtungen kann man mit anderen Heizkörpern (z.B. Deckenheizkörpern) machen.

Es wird deshalb empfohlen, sich nur auf die Messung der Frontfläche zu konzentrieren.

Um im Bedarfsfall die wirksame Strahlung weiterer Flächen zu berücksichtigen ist die Auswahl gemäß folgender Vorgehensweise zu treffen:

Es sind nur die Flächen für die Messung zuzulassen, die nach einer bestimmten Regel aus dem Raum gesehen werden. Eine solche Regel sei:

- a) Man denke sich eine Beobachtungslinie in jeweils 1 m Abstand zu den Wänden und in 1 m Höhe.
- b) Zusätzlich wird eine zweite Beobachtungslinie in jeweils 1 m Abstand zu den Wänden und in 1,5 m Höhe definiert.
- c) Für die Messung werden dann alle die Flächen des Heizkörpers für die Messung der Strahlungseffizienz zugelassen, die jeweils von mindestens einem Punkt der ersten und jeweils mindestens von einem Punkt der zweiten Beobachtungslinie gesehen werden.

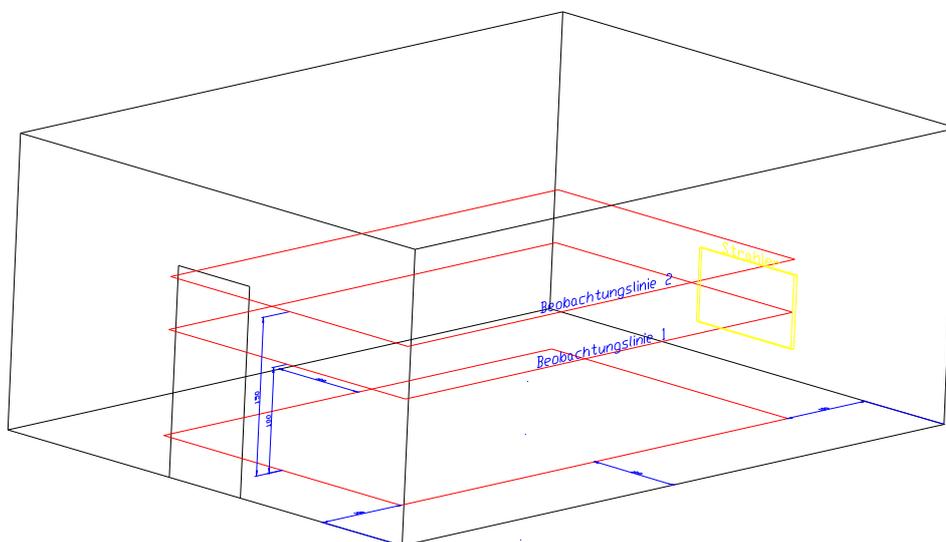


Abbildung 7-1

Für die Messung dürfen nur die nach dem oben beschriebenen Verfahren identifizierten Flächen ausgewählt werden.

8. Betriebsbedingungen des Heizkörpers

Es sind nach Möglichkeit stationäre Heizbedingungen (z.B. konstante Spannung, konstante Leistung etc.) einzustellen, die den Temperaturen im praktischen Einsatzfall nahe kommen. Ggf. kann ein Heizkörper in mehreren Leistungsstufen (Volllast, Teillast etc.) einzeln vermessen werden.

Die Oberflächentemperatur des Heizkörpers ist dabei an wenigstens einer Stelle der untersuchten Strahlungsfläche in kurzen Abständen mit einer Temperaturauflösung

von 0,1 K oder besser zu messen und zu dokumentieren. Die Temperatur- bzw. Leistungseinstellung sollte so sein, dass der Heizkörper hochheizt und schließlich in einen Beharrungszustand übergeht, bei dem keine weitere Erwärmung stattfindet.

Heizkörper, die wegen einer intern eingebauten Regelung keinen stabilen Beharrungszustand erreichen, sondern eine Temperaturschwingung ausführen, können mit der hier beschriebenen Methode nicht vermessen werden. Hierzu ist zum gegebenen Zeitpunkt das Verfahren zu erweitern.

9. Definition Beharrungszustand

Der Beharrungszustand ist erreicht, wenn sich die gemäß Abs. 8 gemessene Oberflächentemperatur innerhalb von 15 min um weniger als 0,7 K oder innerhalb von 30 min um weniger als 1 K ändert. Der Beharrungszustand ist nun 30 min zu halten, in der die Messungen ablaufen.

10. Durchführung der Messungen

Die Messungen werden innerhalb des Beharrungszustandes über einen Zeitraum von 30 min durchgeführt. Es sind zwei oder mehrere Messreihen in konstanten Zeitabständen durchzuführen, wobei jeweils die gesamten Temperatur-Messpunkte ausgelesen und dokumentiert werden. Der Abstand zwischen zwei Messreihen beträgt maximal 15 min; über die jeweiligen Messwerte aller Einzelmessungen am jeweiligen Messpunkt (mindestens 2) wird der Mittelwert gebildet.

10.1. Grundlegende Annahmen

Für alle betrachteten Strahlungsvorgänge wird angenommen, dass sich die Strahlungsemission (Abstrahlung) und die Strahlungsimmission (Absorption) annähernd nach dem Stephan-Boltzmann-Gesetz unter Berücksichtigung des idealen grauen und matten Strahlers berechnen lässt. Die damit in Kauf genommenen Fehler liegen bei wenigen Prozenten gegenüber dem „realen“ „farbigen“ und teilweise glänzenden Strahler.

10.2. Ermittlung des Strahlungsaustausches über Messungen der Oberflächentemperatur

10.2.1. Generelle Bedingungen

Während der Messung dürfen sich alle überwachten Temperaturen (Heizkörper, Umgebungsflächen, Raumluft) um nicht mehr als 1 K ändern.

10.2.2. Berechnung der emittierten Strahlung

Es wird empfohlen die emittierte Strahlung mittels Infrarotkamera (gemäß Punkt 10.3) zu messen.

Alternativ kann folgender Messaufbau angewendet werden.

Die Heizfläche muss in nahezu temperaturgleiche Flächenraster (max. Temperaturdifferenz im Rasterpunkt 5 K) eingeteilt werden. Wegen der höheren Temperaturgradienten am Rand des Heizkörpers sind die Rasterflächen in den Randbereichen dichter zu wählen (Abbildung 10-1 zeigt ein Raster für eine nahezu temperaturkonstante Fläche).

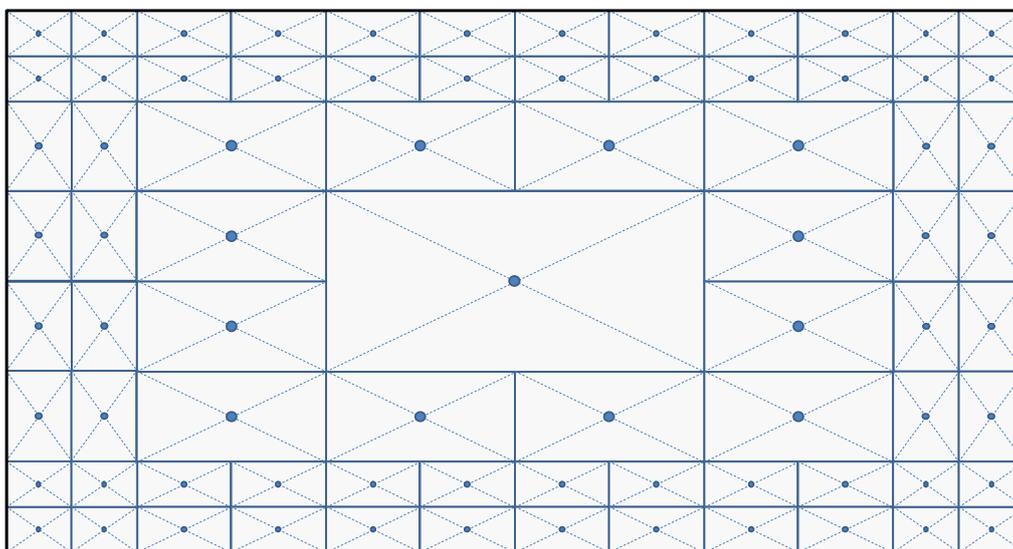


Abbildung 10-1¹

¹ Beispiel einer Rasteraufteilung mit Rasterverdichtung in den Randzonen. Die dunklen Punkte sind jeweils die Mittelpunkte der Rasterfelder. Sofern nicht der Flächenmittelwert gebildet wird, sind diese Punkte als Messpunkte für die Temperatur (Strahlungsthermometer, Kontaktthermometer) zu wählen.

An allen Messpunkten wird die Temperatur in °C mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1K$ gemessen und nach

$$T_M = \sqrt[4]{\frac{\sum_i^n (\vartheta_i + 273,15)^4 * A_i}{\sum_i^n A_i}}$$

| | | | |
|-------------|---|--|--------------------|
| T_M | = | mittlere Oberflächentemperatur des Strahlers | [K] |
| ϑ | = | Gemessene Oberflächentemperatur | [°C] |
| n | = | Anzahl der Teilflächen | |
| A_i | = | Teilfläche des Rasters | [mm ²] |
| i | = | Index der Teilflächen (1 bis n) | |

gemittelt.

Für die Temperaturmessung sind Infrarotkameras mit Flächenmittlung in den einzelnen Rasterflächen, handelsübliche IR Thermometer oder Kontaktthermometer entsprechend Ihrer Gebrauchsanweisung zu verwenden.

Die somit gemessene und gemittelte Oberflächentemperatur des Strahlers wird in die nachfolgende Formel eingesetzt um die Abstrahlleistung des Heizgerätes zu ermitteln.

$$P_E = \varepsilon * C_s * \left(\frac{T_M}{100}\right)^4 * A$$

| | | | |
|---------------|---|--|---|
| P_E | = | Strahlungsleistung des Strahlers | [W] |
| ε | = | Emissionsgrad des Strahlers nach Tabelle 1 | [-] |
| C_s | = | Stefan – Boltzmann Konstante | 5,67 W/(m ² K ⁴) |
| T_M | = | mittlere Oberflächentemperatur des Strahlers | [K] |

A = Strahlerfläche [m²]

10.2.3. Berechnung der absorbierten Strahlung

Für die Messung des Strahlungsaustausches wird die dem Strahler gegenüberliegende Wandfläche und die angrenzenden Wand-, Boden-, und Deckenflächen in das nach Abbildung 10-2 dargestellte Raster aufgeteilt.

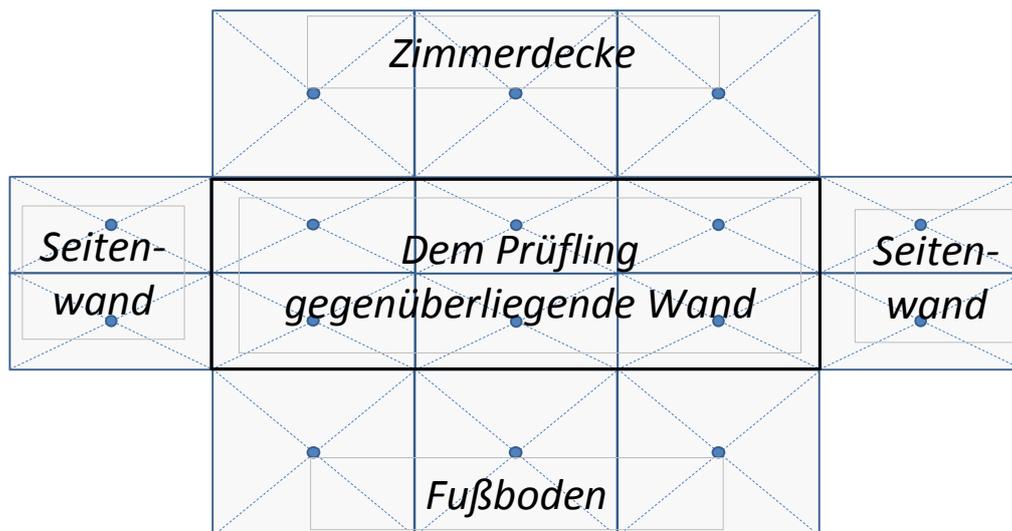


Abbildung 10-2²

An allen dargestellten 16 Messpunkten wird die Temperatur in °C mit einer Auflösung von ± 0,1K gemessen und nach

$$T_w = \sqrt[4]{\frac{\sum_{i=1}^{16} (\vartheta_i + 273,15)^4}{16}}$$

T_w = mittlere Oberflächentemperatur der Umgebungsflächen [K]

ϑ = Gemessene Oberflächentemperatur der Wände [°C]

² Raster der Umgebungsflächen. Die dunklen Punkte sind jeweils die Mittelpunkte der Rasterfelder. Sofern nicht der Flächenmittelwert gebildet wird, sind diese Punkte als Messpunkte für die Temperatur (Strahlungsthermometer, Kontaktthermometer) zu wählen.

gemittelt.

Für die Temperaturmessung kann ein Thermometer wie in 10.2.2 beschrieben verwendet werden.

Alternativ kann mit fest verbauten Messfühlern gearbeitet werden, die über Ihre Einbautiefe einen genauen Rückschluss auf die Oberflächentemperatur geben.

Die somit gemessene und gemittelte Oberflächentemperatur der Umgebungsflächen wird in die nachfolgende Formel eingesetzt, um die Abstrahlleistungsdichte der Umgebungsflächen auf das Heizgerät zu ermitteln.

$$P_W = \varepsilon_W * C_S * \left(\frac{T_W}{100}\right)^4$$

| | | | |
|-----------------|---|--|---|
| P_W | = | Abstrahlleistungsdichte der Umgebungsflächen auf das Heizgerät | [W/m ²] |
| ε_W | = | Emissionsgrad der Umgebungsflächen nach Tab. 1 | [-] |
| C_S | = | Stefan – Boltzmann Konstante | 5,67 W/(m ² K ⁴) |
| T_W | = | mittlere Oberflächentemperatur | [K] |

Die Absorptionsleistung des Strahlers wird nach Formel

$$P_A = P_W * \varepsilon_S * A_S$$

| | | | |
|-----------------|---|-----------------------------------|---------------------|
| P_A | = | Absorptionsleistung des Strahlers | [W] |
| P_W | = | Strahlungsleistung der Wand | [W/m ²] |
| ε_S | = | Emissionsgrad des Strahlers | [-] |

A = Strahlerfläche [m²]

berechnet.

Die resultierende Strahlungsleistung des Strahlers ergibt sich aus

$$P = P_E - P_A$$

P = resultierende Strahlungsleistung [W]

P_E = Strahlungsleistung des Strahlers [W]

P_A = Absorptionsleistung des Strahlers [W]

Der Emissionsgrad ϵ des Strahlers sowie der Wandflächen wird dem jeweils aktuellen VDI-Wärmeatlas für das entsprechende Oberflächenmaterial und die entsprechende Oberflächentemperatur entnommen. Alternativ können die Emissionsgrade gemäß anerkannten Verfahren bestimmt werden.

10.3. Ermittlung des Strahlungsaustausches über Messungen der Abstrahlung mittels Thermokamera

Analog Abschnitt 10.2.2. darf die emittierte Strahlung unter Annahme der Gültigkeit des Stephan-Boltzman-Gesetzes für (ideale) graue Strahler und der Gültigkeit des Lambertschen Kosinus-Gesetzes auch mittels Thermokamera gemessen werden. Man erhält damit eine wesentlich höhere Auflösung (Pixel-Auflösung). Bei der Summation der emittierten Strahlungsanteile über die Fläche ist zu beachten, dass zunächst von jedem Pixelpunkt die emittierte Strahlungsleistung bezogen auf die reale anteilige Heizkörperoberfläche, die dem Pixel-Punkt entspricht, berechnet wird und erst danach die einzelnen Strahlungsanteile summiert werden.

Das weitere Vorgehen entspricht dann dem Abschnitt 10.2.3.³

10.4. Ermittlung der Energie-Aufnahmeleistung

Die aufgenommene elektrische Leistung wird über den gesamten Messzeitraum (30 min) in einem Zeitraster von mindestens 15 min und mindestens in dem Zeitraster der Temperaturmessreihen (vgl. Vorbemerkung zu Abs. 10) dokumentiert. Die Messung ist nur zulässig, wenn sich die elektrische Leistung im Messzeitraum um weniger als 5% ändert. Für die Effizienzberechnung wird der Mittelwert dieser Einzelmessungen gebildet.

10.5. Berechnung der Strahlungseffizienz der betrachteten Teilflächen

Die Strahlungseffizienz ist der Quotient aus der gemittelten Strahlungsaustauschenergie und der gemittelten Energieaufnahme während des Messzeitraumes im Beharrungszustand.

³ Hinweis: Es wäre zu ungenau, zunächst die mittlere Oberflächentemperatur des Heizkörpers mit der Thermokamera durch Bildung des Flächendurchschnitts zu berechnen, um damit die emittierte Strahlung zu messen. Deshalb wurde in Punkt 10.2.2 die Aufteilung in Rasterflächen gewählt.

11. Begriffsdefinitionen

11.1. Strahlungsenergieanteil

Der Strahlungsenergieanteil wird definiert als das Verhältnis der im Beharrungszustand mit dem zu beheizenden Raum ausgetauschten Strahlungsleistung der betrachteten Flächen zu der in diesem Beharrungszustand aufgenommenen elektrischen Leistung. Sie errechnet sich nach

$$\eta = \frac{P}{P_{Aufn.}} \cdot 100\%$$

| | | | |
|-------------|---|-------------------------------------|-----|
| η | = | Effizienz / Wirkungsgrad | [%] |
| P | = | resultierende Strahlungsleistung | [W] |
| $P_{Aufn.}$ | = | Energieaufnahme während der Messung | [W] |

und gibt einen Rückschluss auf die Umsetzung von eingebrachter Energie in Strahlungsenergie des Heizgerätes.

11.2. Wirksame Infrarotstrahlung

Die Infrarotstrahlung des Heizkörpers wird in drei Arten aufgeteilt

1. Direkte Strahlung

Bei der direkten Strahlung trifft die Strahlung direkt vom Strahler auf Personen oder Objekte im Raum.

2. Indirekte Strahlung

Bei der indirekten Strahlung wird die Strahlung über eine Fläche reflektiert und trifft erst dann auf Personen oder Objekte im Raum.

3. Diffuse Strahlung bzw. Heizkörperrückwandstrahlung

Bei der diffusen Strahlung wird die Strahlung mehrfach über verschiedene Flächen reflektiert und trifft erst dann auf Personen oder Objekte im Raum.

Als wirksame Infrarotstrahlung wurde bei den vorherigen Berechnungen von der direkten Strahlung ausgegangen. Deshalb ist das Ergebnis immer nur ein Teil des Gesamtwärmeeintrags des Heizkörpers in den Raum.

12. Sonstige Messungen

Bis zum Erreichen des Beharrungszustandes wird in regelmäßigen Zeitabständen das Aufheizverhalten des Heizkörpers protokolliert. Hierfür werden die als Referenz fungierenden Messpunkte innerhalb des Hauptwärmungsbereiches des Heizkörpers, z.B. die Messpunkte 12, 13 und 14 in Abb. 10-1, in Zeitabständen von 30 Sekunden gemessen und gemittelt. Die aufgenommenen Werte werden in eine Kurve aufgetragen und ergeben die Aufheizkurve des Heizgerätes.

Nachdem die Messungen durchgeführt wurden, wird das Heizgerät vom Netz getrennt. Die als Referenz fungierenden Messpunkte 12, 13 und 14 werden in Zeitabständen von 30 Sekunden gemessen und gemittelt. Diese in eine Kurve aufgetragen ergeben die Abkühlkurve des Heizgerätes.

13. Fehlerbetrachtung

Es ist eine reale Fehlerabschätzung nach den Regeln der Fehlerfortpflanzung unter Berücksichtigung aller Messgerätefehler und aller statistischen Fehler bei Mittelung von Messwerten durchzuführen und als Messunsicherheit bei der Angabe der Strahlungsenergieanteils mit anzugeben.