

Anmerkungen zum Arbeitsblatt G 638 für Gasstrahler

Bernd Glück, Jößnitz (Plauen)

Einleitend werden der Stand dargestellt und Vorschläge zur Charakterisierung der Raumtemperatur gemacht. In [1] sind die generelle wärmephysiologische Zielstellung – die Einhaltung der gesicherten Klimasummengröße in Form des bekannten PMV-Index – sowie die geltenden und in der Novellierung befindlichen Verordnungen – Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) sowie die Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6 – diskutiert worden. Für die praktische Handhabung wird üblicherweise die operative Raumtemperatur t_R nach der in DIN EN ISO 7730 vorhandenen Definition

$$t_R = a t_L + (1 - a) t_U \quad (1)$$

verwendet, wobei t_L die Lufttemperatur und t_U die Strahlungstemperatur in der Umgebung des Menschen bedeuten. Unter der Voraussetzung, dass die Luft- und Strahlungstemperatur weniger als 4 K voneinander abweichen, gelten z.B. für Strahlungsheizungen (Luftgeschwindigkeit $< 0,2$ m/s)

Das DVGW-Regelwerk beinhaltet zur Auslegung und zum Betrieb von Gasstrahlern zwei Arbeitsblätter; G 638-I für Gashellstrahler und G 638/II für Gasdunkelstrahler. Bezüglich der wärmephysiologischen Betrachtung gibt es keine Übereinstimmung mit der geltenden Norm DIN EN ISO 7730. Da auch die Neufassung des Arbeitsblattes G 638/I keinen Konsens herstellt, ist eine Diskussion dringend geboten.

$$t_R = 0,5 t_L + 0,5 t_U \quad (2)$$

In [1] wurde der Koeffizient a abweichend von der bisherigen Darstellung so definiert, dass er optimal die Fanger'schen Behaglichkeitsgleichungen erfüllt. Als signifikante Einflussfaktoren für a sind der Gesamtenergieumsatz $\dot{q}_{\text{ges}}$ in met sowie die Luftgeschwindigkeit w_L in m/s berücksichtigt worden, so dass gilt:

$$a = 0,48 + 0,04 \dot{q}_{\text{ges}} + 0,3 w_L \quad (3)$$

Für winterliche Bedingungen ist damit in den Bereichen von $\dot{q}_{\text{ges}} = 1,2 \dots 3$ met sowie $w_L = 0,1 \dots 0,5$ m/s eine sehr gute Näherung gegeben. Als Mittelwert für Strahlungsheizungen empfiehlt [1] die operative Raumtemperatur durch

$$t_R = 0,6 t_L + 0,4 t_U \quad (4)$$

zu approximieren.

Vorbemerkung zu den Arbeitsblättern G 638

Vorab sei die nicht normgerechte und teilweise unwissenschaftliche Ausdrucksweise negativ angemerkt. Dies soll an drei Beispielen demonstriert werden:

□ Die Begriffe „empfundene Raumtemperatur“ und „physiologische Temperatur“ sind in keiner Norm definiert. Dennoch beschreibt man damit die operative Raumtemperatur nach Gl. (2).

□ Der Satz „Eine richtig ausgelegte Heizungsanlage soll den Menschen davor bewahren, die Körperwärme zu schnell (Kältegefühl) oder zu langsam (Hitzegefühl) abzugeben.“ ist nicht korrekt, denn die globale Wärmebilanz nach DIN EN ISO 7730 betrachtet den stationären Zustand.

□ Aussagen wie z.B. „40 W/m² entspricht 1 °C“ dienen nicht der Aufklärung des physikalischen Sachverhaltes.

Als generell ungenügend werden die Erläuterungen und die Nennungen der nicht nachprüfaren Koeffizienten empfunden. Auch bei einem mit den Grundkenntnissen der Wärmeübertragung Vertrauten entstehen mystische Eindrücke, wenn ihm ohne Erläuterung beispielsweise mitgeteilt wird, dass die mittlere Einstrahlzahl eines Senkrechtsstrahlers 0,4 und die eines Schrägstrahlers 0,7 ist.

Berechnungsmodell in den Arbeitsblättern G 638/I (1991) und II (1995)

Obwohl man sich in den Aussagen eingangs stets auf die operative Raumtemperatur nach Gl. (2) bezieht, geht man in Wirklichkeit überhaupt nicht mehr darauf ein. Stattdessen werden in den verschiedenen Arbeitsblättern unterschiedliche Behauptungen aufgestellt, die zweifelhaft sind.

Nach dem bisher verbindlichen Arbeitsblatt G 638/I gelten für t_R die Definitionen

$$t_R = t_L + 0,072 I_S \quad (5)$$

und

$$t_R = t_L + 0,24 I_{Sm} \quad (6)$$

mit

t_L Lufttemperatur

I_S Strahlungsintensität in 1,5 m über dem Fußboden (gemessen nach oben gegen die Decke mit einem Öffnungswinkel von 160°) veranschaulicht im

Bild 1

Autor



Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Jahrgang 1942, betreibt ein Forschungs- und Entwicklungsbüro für Technische Gebäudeausrüstung. Gleichzeitig ist er als Honorarprofessor an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH) tätig.

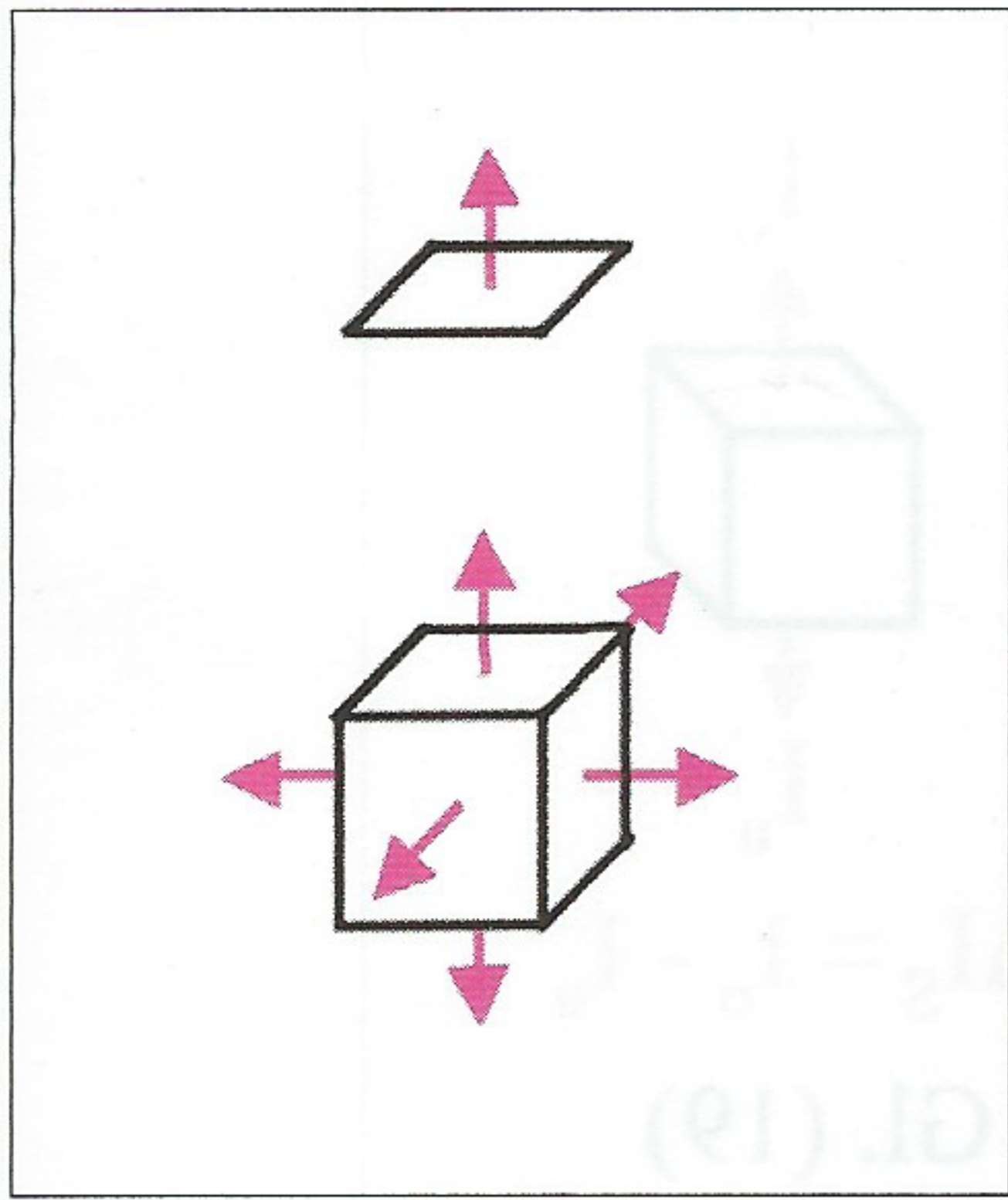


Bild 1

Ausrichtung der Messgeräte zur Ermittlung der Strahlungsintensität

Bild oben: I_s gemäß Gl. (5) mit Messrichtung zur Decke

Bild unten: I_{sm} gemäß Gl. (6) mit Messungen in sechs Richtungen und arithmetische Mittelung der Einzelergebnisse

I_{sm} mittlere Strahlungsintensität in 1,5 m über dem Fußboden (arithmetisches Mittel aus sechs Einzelmessungen in den Richtungen gemäß Bild 1).

Gemäß Arbeitsblatt G 638/II wird nur Gl. (5) verwendet, wobei der Koeffizient 0,072 durch Herstellerangaben verändert werden kann.

Feststellung:

□ Die Gl. (5) kann die operative Raumtemperatur überhaupt nicht wiedergeben, da nur der zum Strahler orientierte Halbraum erfasst wird. Die „kalten“ Flächen – wie beispielsweise der Boden oder ein Teil der Außenwände – finden keinen Eingang in die Berechnung. Dies ist physikalisch falsch und jede weitere Erörterung, inwieweit spezielle Umgebungsbedingungen pauschal in dem Koeffizienten 0,072 enthalten sind, bereitet wegen des spekulativen Charakters keinen Sinn.

□ Die Gl. (6) ist grundsätzlich zur Bestimmung der operativen Raumtemperatur geeignet, da die Strahlung des gesamten Raumes erfasst wird.

Die arithmetische Mittelung beinhaltet jedoch generell Fehler gegenüber der exakten Bestimmung der Strahlungstemperatur. Diese würde nach [2] exakt lauten:

bezogen auf ein Flächenelement i

$$t_{U,i} = 4 \sqrt{\frac{1}{\sigma} \sum_{j=1}^n \varphi_{i,j} \dot{f}_j} - 273 \text{ K} \quad (7)$$

bezogen auf ein kugelförmiges Element i

$$t_{U,i} = 4 \sqrt{\frac{1}{\sigma} \sum_{j=1}^n \varphi_{i,j}^o \dot{f}_j} - 273 \text{ K} \quad (8)$$

Hierbei bedeuten:

σ Strahlungskonstante

$(5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4))$

φ Einstrahlzahl

(Flächenelement – Fläche)

φ^o Einstrahlzahl

(kugelförmiges Element – Fläche)

i betrachtetes Element

f Flächenhelligkeit

$$\dot{f}_j = \dot{e}_j + (1 - \varepsilon_j) \underbrace{\sum_{k=1}^n \Phi_{j,k} \dot{f}_k}_{\text{zugestrahlte Energie}} \quad (9)$$

reflektierte zugestrahlte Energie

$\dot{e}$ Eigenemission

$$\dot{e} = \varepsilon \sigma T^4$$

ε Emissionskoeffizient

Φ Einstrahlzahl (Fläche – Fläche)

j, k Nummer der Umgebungsfläche des Raumes von 1 bis n .

Als übliche Näherungen für die Strahlungstemperatur werden Vereinfachungen verwendet, die die Berechnung der Flächenhelligkeit umgehen. Sie folgen aus den bekannten Temperaturen der raumbegrenzenden Oberflächen: bezogen auf ein Flächenelement i

$$t_{U,i} = 4 \sqrt{\sum_{j=1}^n \varphi_{i,j} (t_j + 273)^4} - 273 \text{ K} \quad (11)$$

Näherung für kugelförmiges Element i

$$t_{U,i} = 4 \sqrt{\sum_{j=1}^n \varphi_{i,j}^o (t_j + 273)^4} - 273 \text{ K} \quad (12)$$

Demgegenüber erfolgt die Berechnung nach Gl. (6) auf der Grundlage der gemessenen mittleren Strahlungsintensität (Definition in [3]):

$$I_{sm} = \sigma [(t_{Um} + 273)^4 - (t_L + 273)^4] \quad (13)$$

Nach dem sogenannten Linearisieren mit

$$b = \frac{(t_{Um} + 273)^4 - (t_L + 273)^4}{t_{Um} - t_L}$$

folgen:

$$I_{sm} = \sigma b (t_{Um} - t_L) \quad (14)$$

$$t_{Um} = \frac{I_{sm}}{\sigma b} + t_L \quad (15)$$

Damit ergeben sich weiterhin schrittweise verschiedene Berechnungsmöglichkeiten für die operative Raumtemperatur unter Einbeziehen der Definition gemäß Gl. (2):

$$(16)$$

$$t_R = 0,5 t_L + 0,5 t_{Um} = 0,5 t_L + 0,5 \frac{I_{sm}}{\sigma b} + 0,5 t_L$$

$$t_R = t_L + 0,5 \frac{I_{sm}}{\sigma b} \quad (17)$$

Daraus ergibt sich als zugeschnittene Größengleichung mit $b \approx 1 \cdot 10^8 \text{ K}^3$, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$ sowie I_{sm} in W/m^2

$$t_R = t_L + 0,088 I_{sm} \quad (18)$$

Demgegenüber steht aber die Aussage der Gl. (6) mit dem Koeffizienten 0,24 gemäß G 638/I (Ausgabe März 1991). Die Strahlung wird also um den Faktor 2,7 bzw. um 172 % zu hoch bewertet!

Dies hat fatale Folgen, wie das anschließende Kurzbeispiel aus G 638/I, Seite 8 zeigt:

□ gewünschte operative Raumtemperatur $t_R = 17^\circ \text{C}$

□ mittlere Strahlungsintensität

$$I_{sm} = 30 \text{ W}/\text{m}^2$$

□ erforderliche Lufttemperatur nach

$$\text{Gl. (18)} \quad t_L = 14,4^\circ \text{C}$$

□ Nach Gl. (6) ergibt sich aber $t_L = 9,8^\circ \text{C}$.

Im Arbeitsblatt G 638/I ist für dieses Beispiel $t_L = 10^\circ \text{C}$ angegeben.

D. h., die wärmephysiologische Bewertung und eventuell daraus resultierende energetische Schlussfolgerungen sind somit extrem falsch ($t_L = 14,4^\circ \text{C} \leftrightarrow 9,8^\circ \text{C}$).

Berechnungsmodell in der Neufassung des Arbeitsblattes G 638/I (April 2003)

In der Neufassung des Arbeitsblattes G 638/I (Druckmanuskript April 2003) wird anstelle der Gln. (5) und (6) die wiederum als „empfundene Raumtemperatur (physiologische Temperatur)“ bezeichnete Größe

$$t_R = t_L + k \Delta I_s = t_L + k (I_o - I_u) \quad (19)$$

mit dem von der Strahlerstellung abhängigen Koeffizienten $k = 0,025 \dots 0,072$ eingeführt. Diese Darstellung basiert auf [3], wobei dort der Koeffizient $k = 0,024 \text{ K}/(\text{W}/\text{m}^2)$ gilt.

In Gl. (19) wird die Differenz aus den von oben und von unten empfangenen Strahlungsintensitäten in 1,7 m über Fußboden verwendet. Die neu empfohlene Methode ist bezüglich der Messwerterfassung aus Bild 2 ersichtlich, wobei eine bildliche Gegenüberstellung zu den bisherigen Methoden zusätzlich erfolgt. Die Strahlungsintensitäten nach oben und unten sind wiederum nach [3] definiert als

$$I_o = \sigma [(t_{uo} + 273)^4 - (t_L + 273)^4] \text{ bzw.} \\ I_u = \sigma [(t_{uu} + 273)^4 - (t_L + 273)^4] \quad (20).$$

Feststellung

Die bisher vom DVGW verwendeten Berechnungsgleichungen (5) und (6) sowie die Neudefinition (19) nehmen eine sehr unterschiedliche Erfassung und Bewertung der Strahlungsintensitäten vor (Bild 2). Es folgen daraus:

□ Die Gl. (6) war als einzige Variante näherungsweise geeignet, den physikalischen Sachverhalt richtig wiederzugeben, da die dem Menschen zugestrahlte Wärmeenergie als Mittelwert aus allen Richtungen erfasst wurde. Lediglich der Koeffizient in Gl. (6) ist falsch. Diese Ermittlungsvariante ist in den Arbeitsblättern zukünftig nicht mehr enthalten.

□ Die Gl. (5) ist mit der alleinigen Verwendung von $I_s \equiv I_o$ keinesfalls repräsentativ für die Globalstrahlung auf den Menschen und somit ungeeignet.

□ Die neuerdings verwendete Gl. (19) stellt die Strahlungsasymmetrie $\Delta I_s = I_o - I_u$ in Rechnung, d.h., es wird sogar die von unten zugestrahlte Intensität noch subtrahiert, wodurch man sich von der physikalischen Realität noch weiter entfernt.

Wäre keine Strahlungsasymmetrie vorhanden (Idealfall der Beheizung), fände die Strahlungstemperatur der Umgebung überhaupt keine Beachtung! Die operative Raumtemperatur würde dann nur aus der Lufttemperatur gebildet.

Die Variabilität der Koeffizienten k in Gl. (19) beinhaltet auch keine Verbesserung des fehlerhaft erfassten physikalischen Sachverhaltes.

□ Generell sollte man sich bei den Festlegungen auch auf eine einheitliche Prüfhöhe über dem Fußboden einigen. Anstelle der 1,5 m bzw. neuerdings 1,7 m wird beispielsweise nach DIN EN 2726 (ISO 7726) für den Messort der globalen Behaglichkeitsgröße eines stehenden Menschen die Höhe von 1,1 m empfohlen.

Fazit

Damit sind die Darstellungen in den DVGW Arbeitsblättern für Gasstrahlerheizungen nicht geeignet, die in DIN EN ISO 7730 definierte operative Raumtemperatur richtig zu ermitteln. Die Blätter sollten dringend an die geltenden Normen angepasst werden.

Die Fußnote in der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6, Abschnitt II, Punkt 1.1, die auf die DVGW-Arbeitsblätter G 638 I und II verweist, ist unnötig, verleiht einem Verbandsarbeitsblatt einen völlig überhöhten Stellenwert und wird möglicherweise wettbewerbsverzerrend ausgenutzt. Die genannten Arbeitsblätter tragen keinen Normencharakter und verkörpern auch nicht den Stand der Technik, da die Verhältnisse der Wärmestrahlung physikalisch nicht richtig wiedergegeben sind. Vom Verfasser wurde beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit der Antrag gestellt, diesen Sachverhalt bei der Novellierung der Arbeitsstättenverordnung zu beachten.

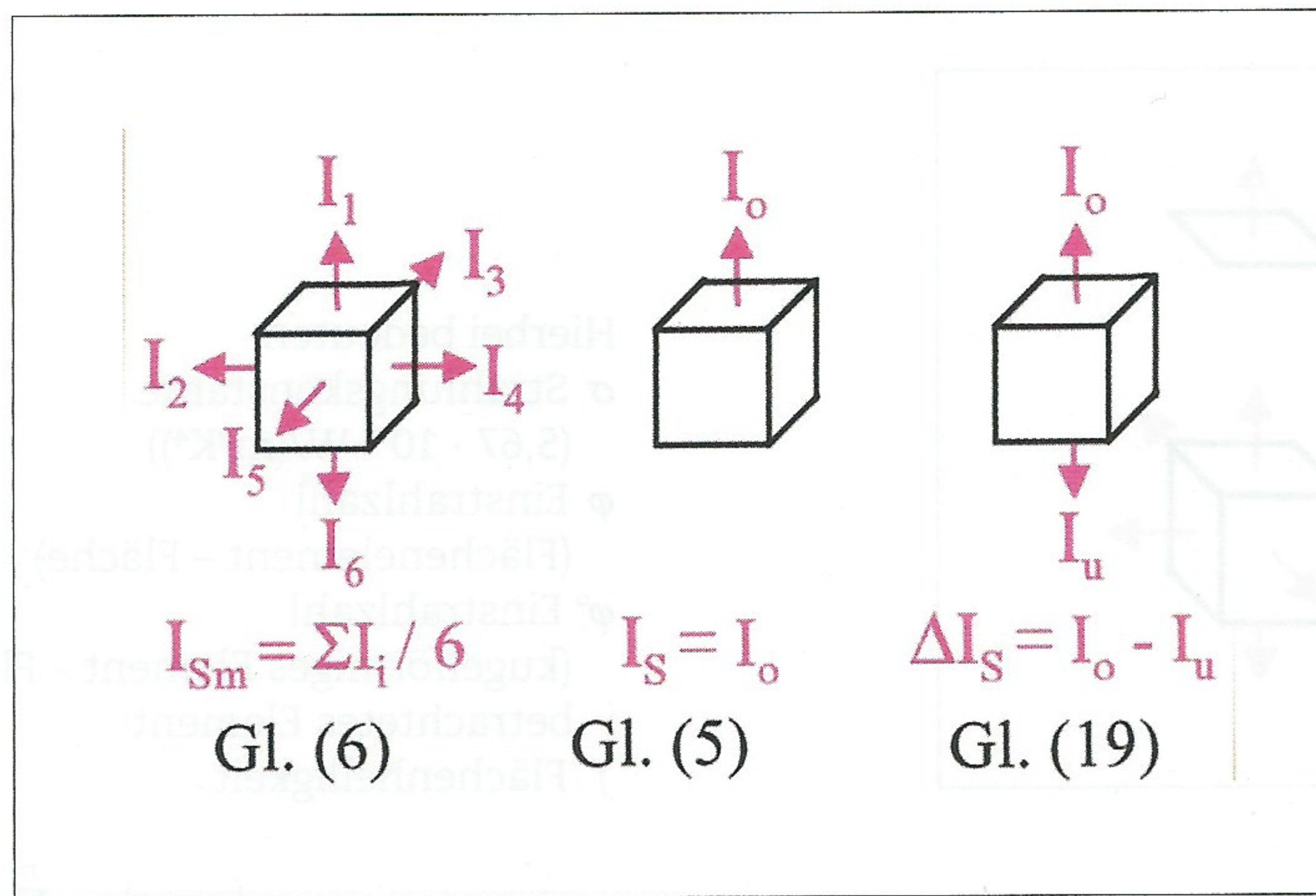


Bild 2

Zusammenfassende Darstellung der in den DVGW Arbeitsblättern G 638 I und II sowie in der Neufassung G 638/I verwendeten Strahlungsintensitäten

Die Pfeile geben die Messrichtungen an. Bild links: I_{sm} gemäß Gl. (6) mit Messungen in sechs Richtungen und arithmetische Mittelung der Einzelergebnisse (wahlweise Messvariante nach G 638/I, Ausgabe März 1991)

Bild Mitte: $I_s \equiv I_o$ gemäß Gl. (5) nur mit Messrichtung nach oben (wahlweise Messvariante gemäß G 638/I, Ausgabe März 1991) bzw. alleinige Messvariante nach G 638/II, Ausgabe April 1995)

Bild rechts: ΔI_s gemäß Gl. (19) mit Messrichtungen nach oben und unten sowie Bilden des Differenzbetrages (alleinige Messvariante gemäß G 638/I, Stand April 2003)

Literatur

- [1] Glück, B.: Neue Definition der operativen Raumtemperatur in Fertigungsstätten. Erscheint demnächst in HLH Bd. 55 (2004) Nr. 3 (Teil 1) u. Nr. 4 (Teil 2).
- [2] Glück, B.: Wärmetechnisches Raummodell – Gekoppelte Berechnungen und wärme-physiologische Untersuchungen. Heidelberg: C. F. Müller Verlag 1997 (ISBN 3-7880-7615-1).
- [3] Gebhardt, H.; Müller, B. H., Hettinger, Th.; Pause, B.: Physiologische Bewertung von Strahlungsheizungen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 726. Dortmund 1995 (ISBN 3-89429-953-3).