

Dr.-Ing. habil. Bernd Glück

RUD. OTTO MEYER, Hamburg

Leistungsnachweis bei geschlossenen Kühldecken

Eine exakte Bestimmung des Wärmestromes, den eine installierte Kühldecke vom zu kühlenden Raum aufnimmt, ist mit den üblichen Mitteln der Praxis nicht möglich. Aus diesem Grund sind vereinfachte Verfahren zu entwickeln, die eine näherungsweise Qualitätsprüfung gestatten. Diese Verfahren sollten im günstigsten Fall in eine Norm Eingang finden oder im Rahmen einer Gütegemeinschaft fixiert werden. Führen diese Wege nicht zum Erfolg, so bedarf es entsprechender Vereinbarungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer.

Mit dem in [1] und [2] beschriebenen Modellen ist es sehr gut möglich, die vielfältigen Einflüsse der Konstruktion und der thermodynamischen Ankopplung an den Raum auf die Wärmestromaufnahme (Leistung) der Kühldecke zu simulieren. Für die im Bild 1 dargestellte Lamellen-Konstruktion folgten unter stationären Bedingungen bei Variation des Wärmeleitwiderstandes zwischen Rohr und Lamellen-sicke R_s sowie des Wärmeübergangskoeffizienten vom Raum an die Decke α_i die Ergebnisse in Tabelle 1. Die beiden genannten Größen können Schwankungen unterliegen, wenn die Konstruktion und Montage nicht nach festen Gütebedingungen erfolgt bzw. wenn der Wärmeübergang vom Raum nicht reproduzierbar ist. Als Standardwerte gelten:

$$R_s = 0,002 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad \alpha_i \equiv \alpha_p = 8,92 (t_i - t_D)^{0,1} \text{ in W/(m}^2\text{K)},$$

wobei t_i die Raumtemperatur und t_D die mittlere Deckentemperatur darstellen. Die Identität $\alpha_i \equiv \alpha_p$ bedeutet, daß der Wärmeübergang gemäß der Basiskennlinie berechnet wird. Die durchgeführten Variationen liegen beiderseitig der Standardwerte.

Als konstante Größen gelten:

- Raumtemperaturen $t_i = 26 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$
- mittlere Wassertemperatur $t_w = 16 \text{ }^\circ\text{C}$
- Rohrabstand $l = 0,200 \text{ m}$
- Lamellendicke $\delta_L = 0,0008 \text{ m}$
- Dämmdicke $\delta_D = 0,040 \text{ m}$.

Der zu garantierende Qualitätswert ist die innere Wärmestromdichte $\dot{q}_i$. Eine direkte Überprüfung am ausgeführten Objekt kann mit vertretbarem Aufwand nicht erfolgen. Im weiteren werden deshalb verschiedene Näherungslösungen an Hand der denkbaren Einflüsse - vergleiche Tabelle 1 - diskutiert.

1. Kalorische Messung

Aus der Messung der Einzelgrößen Vorlauftemperatur t_v , Rücklauftemperatur t_R , Massestrom $\dot{m}$ und der Kenntnis über die Größe der aktiven Kühlfläche A_{KD} folgt der spezifische Gesamtwärmestrom

$$\dot{q}_{ges} = \dot{q}_i + \dot{q}_a = \frac{\dot{m} c (t_R - t_v)}{A_{KD}} \quad (1)$$

Bei guter Wärmedämmung gilt die Beziehung

$$\dot{q}_a = (0,07 \dots 0,10) \dot{q}_i$$

Im Mittel kann damit

$$\dot{q}_i = \frac{\dot{q}_{ges}}{1,09} \quad (2)$$

angenommen werden.

Da diese Meßmethode ziemlich aufwendig ist, müssen größere Kühlflächen – evtl. ein kompletter Gebäudeabschnitt – zusammengefaßt untersucht werden.

2. Normprüfung der Elemente und Temperaturmessungen

Die Kühlpaneele werden typbezogen einer genormten kalorischen Messung unterzogen und dabei eine charakteristische Leistungskenngröße ermittelt. Es bietet sich dafür der Teilwärmedurchgangskoeffizient

$$\kappa = \frac{\dot{q}_i}{t_D - t_W} \quad (3)$$

an, wobei ein einzuhaltender REYNOLDSzahlbereich determiniert wird, so daß bis auf Paneele mit Kapillarrohrmatten stets turbulente Strömungsverhältnisse in den Wasserkanälen gesichert sind. Die Qualitätsüberwachung des Produktes hat durch laufende Stichprobenprüfungen die Konstanz des κ -Wertes zu garantieren. Unter diesen Bedingungen würde der Leistungsnachweis durch Messungen der Wassertemperaturen t_v und t_R sowie einiger punktueller Deckentemperaturen t_{Dj} durchführbar sein. Aus den gemessenen Werten folgen die mittlere Wassertemperatur

$$t_W = 0,5 (t_V + t_R) \quad (4)$$

und die mittlere Deckentemperatur (Flächenmittel)

$$t_D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{D,i} \quad (5)$$

Selbstverständlich müssen die Einzelwerte $t_{D,i}$ und t_W miteinander korrespondieren.

Es ergibt sich damit die spezifische Kühlleistung

$$\dot{q}_i = \kappa (t_D - t_W). \quad (6)$$

Die Messung der Oberflächentemperaturen ist relativ aufwendig und eine genaue, reproduzierbare Ermittlung setzt einige Übung voraus.

Zur Überprüfung des Gesamtsystems sollten im Bereich der Rohre zusätzlich Temperaturmessungen an den Paneelunterseiten erfolgen, um die gleichmäßige Beaufschlagung mit Kühlwasser zu kontrollieren.

Für den Modellfall mit den Variationen von R_s und α_i werden die spezifischen Kühlleistungen gemäß Gl.(6) bestimmt, mit $\dot{q}_i^*$ bezeichnet und in Tabelle 1 ebenfalls vermerkt. Grundlage bildet dabei der Normwert $\kappa = 23,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Unter der Annahme, daß $\kappa = \text{const}$ gilt, nehmen die unterschiedlichen Wärmeübergangsbedingungen α_i nur geringen Einfluß. Die maximalen Fehler – man vergleiche die ε^* -Werte – betragen $\pm 3 \%$.

Wird der Konstruktionsstandard nicht eingehalten, der veränderte R_s -Wert bewirkt auch ein verändertes κ , dann ist diese Methode unbrauchbar, wie die weiteren $\dot{q}_i^*$ -Werte und ihre Fehler ε^* in Tabelle 1 zeigen.

3. Mittelwerte der Raumankopplung und Temperaturmessungen

Die Basiskennlinie für die Wärmestromdichte

$$\dot{q}_i = 8,92 (t_i - t_D)^{1,1} \text{ in W/m}^2 \quad (7)$$

ist als Mittelwert durch theoretische Ableitungen und Messungen relativ gut abgesichert. Dennoch können örtliche Abweichungen – beispielsweise durch die Raumlüftung oder die Verteilung der Wärmequellen über den Raumgrundriß – auftreten.

Zur quantitativen Überprüfung dieses Sachverhaltes werden aus den Modellergebnissen t_i und t_D , die als Raumtemperaturen mit einem Globethermometer meßbar bzw. als mittlere Deckentemperatur gemäß Gl.(5) aus den Einzelmessungen $t_{D,i}$ bestimmbar wären, die $\dot{q}_i$ -Werte nach Gl. (7) berechnet. Unter $\dot{q}_i^{**}$ sind sie in Tabelle 1 vermerkt. Die Abweichungen zum realen Wert liegen erwartungsgemäß bei Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha_i \neq \alpha_B$ sehr hoch. Übereinstimmung zwischen $\dot{q}_i$ und $\dot{q}_i^{**}$ tritt nur bei Einhalten der Basiskennlinie auf. Diese ist jedoch nur als statistischer Mittelwert – nicht aber in jedem Einzelfall – zu erwarten, so daß diese Methode zum Leistungsnachweis ungeeignet ist.

4. Alleinige Temperaturmessung

Die Raumtemperatur t_i , die mittlere Deckentemperatur t_D und die mittlere Wassertemperatur t_W , deren Meßwertermittlungen in den Abschnitten 2. und 3. beschrieben wurden, stehen in jedem Lastfall in einem bestimmten Verhältnis. Es kann daraus ein Übertragungsgrad, z. B. in der Form

$$\eta = \frac{t_i - t_D}{t_i - t_W} \quad (8)$$

gebildet werden. Für die variierten Modellfälle ist dieser Wert ebenfalls in Tabelle 1 eingetragen. Da der Wärmeübergangswiderstand vom Raum an die Decke und der Wärmeleitwiderstand von der Deckenunterseite bis zum Kühlwasser unterschiedlichen Schwankungen unterliegen, wird auch der fixierte Potentialunterschied $(t_i - t_W)$ völlig verschiedenartig aufgeteilt. Das Ergebnis sind η -Werte, die keinen Bezug zum Leistungsnachweis $\dot{q}_i$ ergeben. So gilt $\eta = 0,68$ beispielsweise für $\alpha_i = \alpha_B$ und $R_S = 0,002 \text{ m}^2\text{K/W}$, gleichzeitig aber auch für $\alpha_i = 1,2 \alpha_B$ und $R_S = 0,001 \text{ m}^2\text{K/W}$. Die realen Leistungen $\dot{q}_i$ unterscheiden sich jedoch um 20 %.

Zusammenfassung

Ein Leistungsnachweis für geschlossene Kühldecken ist relativ exakt, jedoch apparativ aufwendig, nach der kalorischen Methode unter Annahme des Verhältnisses $\dot{q}_a/\dot{q}_i$ – was rechnerisch gut bestimmt werden kann – möglich.

Erfolgt eine Normprüfung der Paneele mit Bestimmung des Teilwärmedurchgangskoeffizienten von der Deckenunterseite bis zum Kühlwasser, dann reicht zum speziellen Leistungsnachweis die meßtechnische Ermittlung der mittleren Deckentemperatur und der mittleren Wassertemperatur aus. Die praktischen Messungen sind allerdings auch nicht unproblematisch.

Nachweise, die nur auf Temperaturmessungen beruhen und die Basiskennlinie als stets gültigen Wert annehmen, erscheinen ungeeignet.

Literatur

- [1] Glück, B.: Leistungsparameter von Kühldecken
CCI (1990) Nr. 14, S. 43 bis 44

- [2] Glück, B.: Einfluß einer wärmespeichernden Massivdecke auf die dynamische Leistungsaufnahme
einer untergehängten Kühldecke
(erscheint in HLH)

Bildunterschrift

Bild 1 Aufbau und wärmetechnische Kennwerte der modellierten Lamellen-Kühldecke

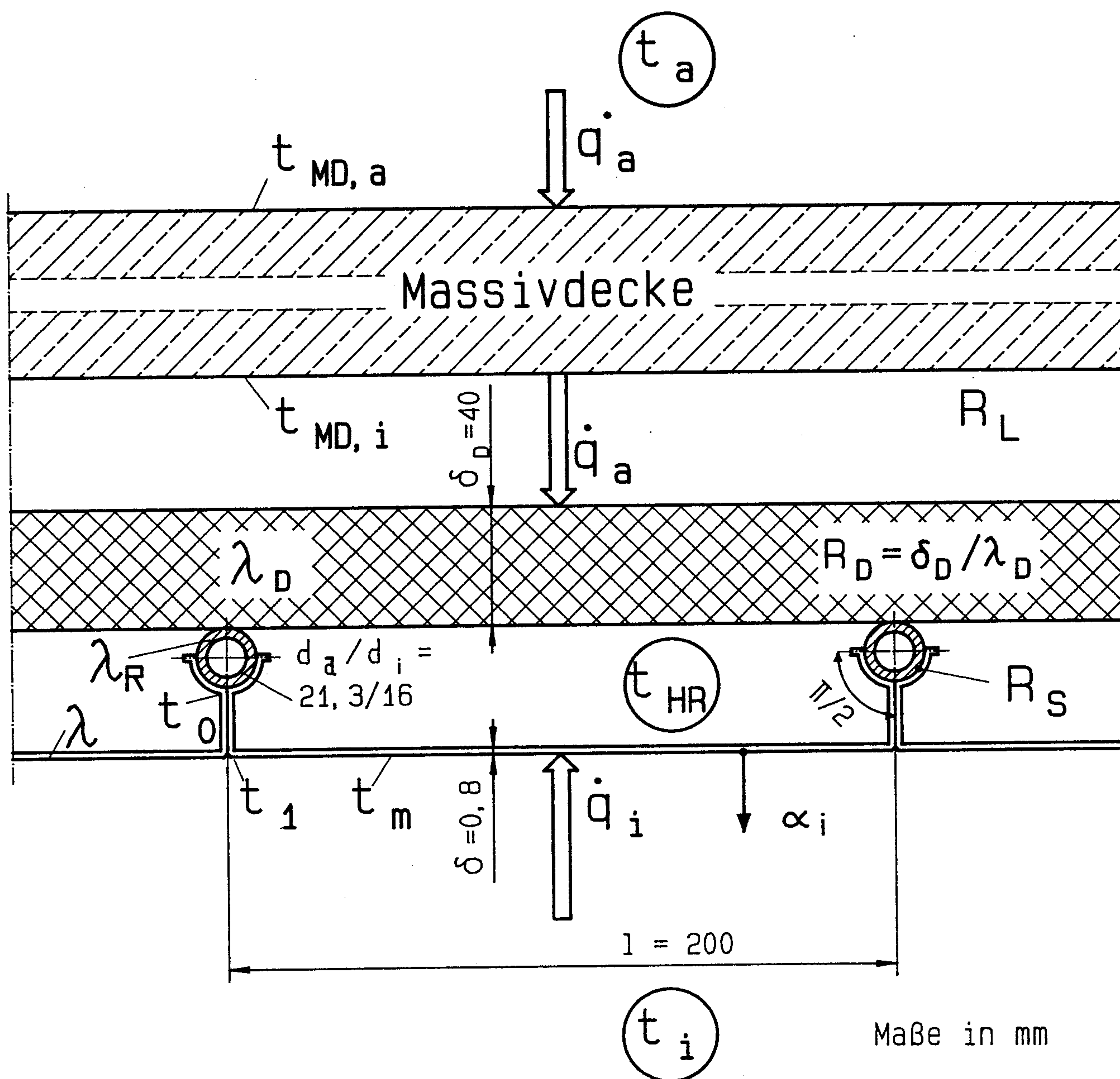


Bild 1

Tabelle 1: Leistungen und Kenngrößen der Beispielrechnungen

	$\alpha_1 = \alpha_g$	$\alpha_1 = 1,2 \alpha_g$	$\alpha_1 = 0,8 \alpha_g$
R_s m^2K/W	0,002 0,004 0,001	0,002 0,004 0,001	0,002 0,004 0,001
$\dot{q}_l$ W/m^2	73,8 67,3 77,6	83,5 75,3 88,3	62,9 58,0 65,7
$\dot{q}_a$ W/m^2	6,7 6,4 6,8	6,5 6,2 6,7	6,8 6,6 7,0
t_D $^{\circ}C$	19,2 19,7 18,9	19,5 20,1 19,2	18,8 19,3 18,5
κ $W/(m^2K)$	23,14 18,04 27,07	23,57 18,34 27,61	22,55 17,63 26,32
$\dot{q}_l^*$ W/m^2	74,0 85,6 67,1	81,0 94,9 74,0	64,8 76,4 57,9
ε^* -	1,00 1,27 0,86	0,97 1,26 0,84	1,03 1,32 0,88
$\dot{q}_l^{**}$ W/m^2	73,5 67,6 77,0	69,9 62,8 73,5	78,2 72,3 81,8
ε^{**} -	1,00 1,00 0,99	0,84 0,83 0,83	1,24 1,25 1,25
η -	0,68 0,63 0,71	0,65 0,59 0,68	0,72 0,67 0,75