Rationelle Bemessung von Strahlungsheizungen

Dr. sc. techn. B. GLUCK
VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung – Institut –

(Fortsetzung von Heft 7/1978)

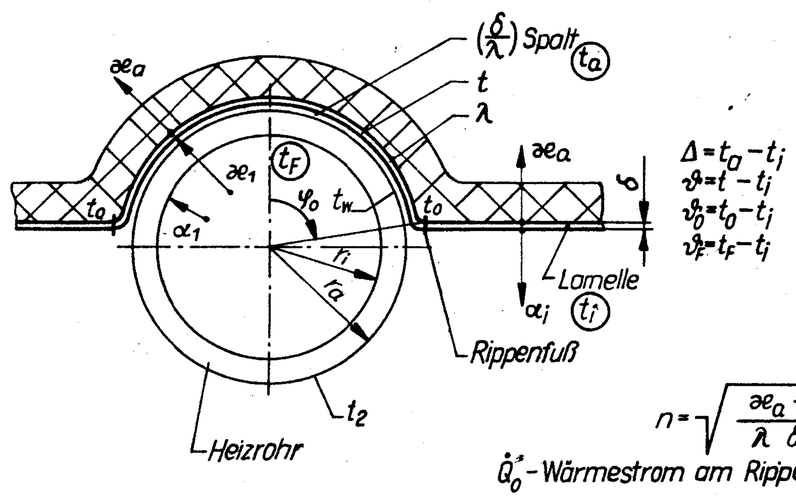
2. Wärmeabgabe von Strahlplatten und Lamellenelementen

Bei der Berechnung der Temperaturverteilung in der Lamelle ist stets von der eindimensionalen Wärmeleitung in einer Rippe auszugehen. Probleme ergeben sich bei der Bemessung von zusammengesetzten Lamellen und bezüglich der Annahme der Rippenfußtemperatur. Diese liegt natürlich unter der Heizmedientemperatur. Sie ist abhängig von der Intensität des Kontaktes zwischen Rohr und Metallamelle.

2.1. Wärmeübertragung vom Rohr an die Lamelle

2.1.1. Form- und kraftschlüssige Verbindung

Die konstruktive Gestaltung und die zugehörigen Berechnungsgleichungen, die sich direkt auf die Heizmedientemperatur beziehen, sind im Bild 16 zusammengestellt. Die mittlere Temperatur in der Lamelle im Bereich der Sicke ($0 < \varphi < \varphi_0$) wird für die Berechnung der Wärmeabgabe nach außen benötigt. Es sind auch Konstruktionen möglich, bei denen die Blechlamelle das Heizrohr nicht auf der äußeren, sondern auf der inneren Seite teilweise umhüllt. Die Lösungen sind den abgeleiteten Gleichungen sehr ähnlich. Es müssen lediglich folgende Veränderungen erfolgen: $\varkappa_a \rightarrow \bar{\varkappa}_i$ und $\Delta = 0$. Dabei stellt $\bar{\varkappa}_i$ den Teil-Wärmedurchgangskoeffizienten dar, der von der im Rohrbereich liegenden Blechlamelle zur inneren Umgebung gebildet wird.
Die Ergebnisse eines berechneten Beispiels sind im Bild 17 gegeben.



$$n = \sqrt{\frac{\varkappa_a + \varkappa_1}{\lambda\,\delta}}$$

$\dot{Q}_0$ – Wärmestrom am Rippenfuß in die Lamelle

b – Breite der Lamelle

Verteilung der Übertemperatur in der Lamelle ($0 < \varphi < \varphi_0$)

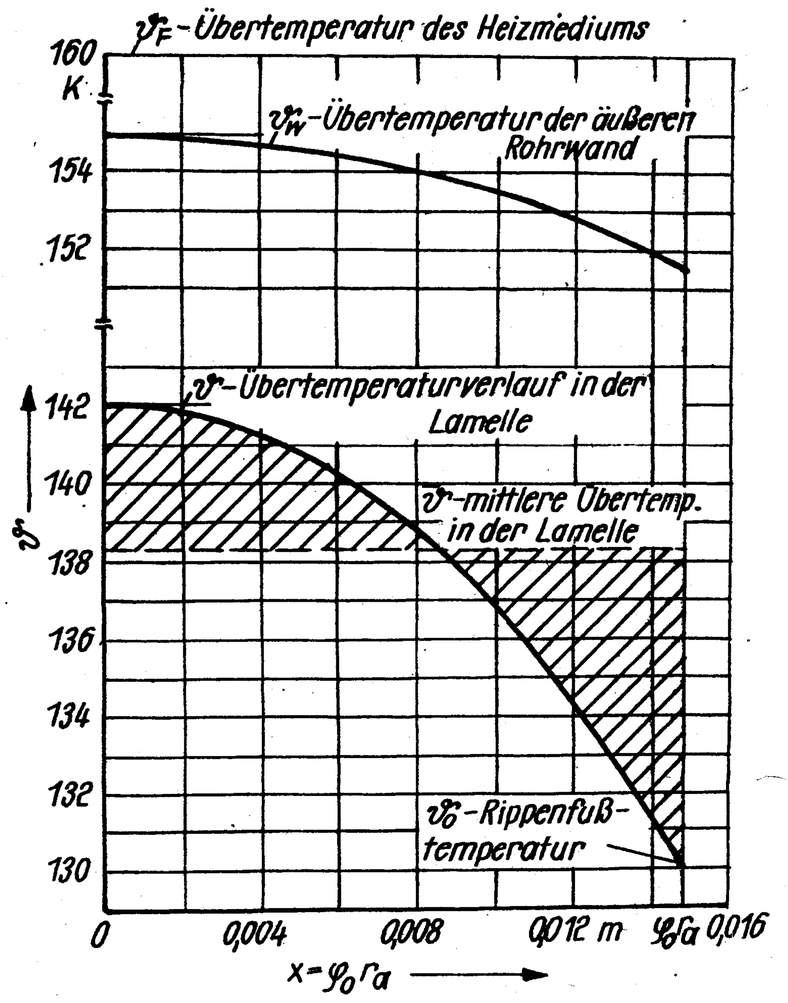
$$\vartheta = \left[\vartheta_0 - \frac{\Delta\,\varkappa_a + \vartheta_F\,\varkappa_1}{\varkappa_a + \varkappa_1}\right]\frac{\cosh(nx)}{\cosh(n\varphi_0 r_a)} + \frac{\Delta\,\varkappa_a + \vartheta_F\,\varkappa_1}{\varkappa_a + \varkappa_1}$$

Mittlere Übertemperatur in der Lamelle ($0 < \varphi < \varphi_0$)

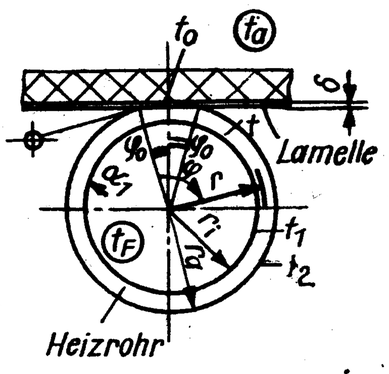
$$\bar{\vartheta} = \left[\vartheta_0 - \frac{\Delta\,\varkappa_a + \vartheta_F\,\varkappa_1}{\varkappa_a + \varkappa_i}\right]\frac{\tanh(n\varphi_0 r_a)}{n\varphi_0 r_a} + \frac{\Delta\,\varkappa_a + \vartheta_F\,\varkappa_1}{\varkappa_a + \varkappa_1}$$

Heizmedienübertemperatur

$$\vartheta_F = \left[\frac{\dot{Q}_0}{b\sqrt{(\varkappa_a + \varkappa_1)\lambda\,\delta}\,\tanh(n\varphi_0 r_a)} + \vartheta_0\right]\frac{\varkappa_a + \varkappa_1}{\varkappa_1} - \Delta\,\frac{\varkappa_a}{\varkappa_1}$$



17



$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 + \dot{Q}_1$$

$$\bar{t}_1 - \bar{t}_2 = \frac{\dot{Q}}{\pi b \lambda}\ln\frac{r_a}{r_i}$$

$$g_0 = -\frac{r_i}{\lambda(\bar{t}_1 - \bar{t}_2)}\cdot\frac{\dot{Q}_0}{\varphi_0 r_a b}$$

$$g_1 = -\frac{r_i}{\lambda(\bar{t}_1 - \bar{t}_2)}\cdot\frac{\dot{Q}_1}{\frac{\pi}{2} r_a b}$$

$\dot{Q}_0$ – einseitiger Wärmestrom am Rippenfuß in die Lamelle

$\dot{Q}_1$ – Wärmestrom vom Rohr an die Umgebung $\varphi = \frac{\pi}{2} \ldots \pi$

b – Breite der Lamelle

$$r' = \frac{r}{r_i} \quad ; \quad r_a' = \frac{r_a}{r_i}$$

$$h_i = \frac{\alpha_1 r_i}{\lambda}$$

$$t(r_i'\varphi) = t_F - \frac{\dot{Q}}{\pi b}\left\{\frac{\ln r'}{\lambda} - \frac{2r_a'}{\pi\lambda}\ln r_a' \sum_{\omega=1}^{\infty}\left[g_0 \sin(\omega\varphi_0) - g_1 \sin\left(\omega\frac{\pi}{2}\right)\right] \cdot \frac{\omega\cosh(\omega\ln r') + h_i \sinh(\omega\ln r')}{\omega^2[\omega\sinh(\omega\ln r_a') + h_i\cosh(\omega\ln r_a')]}\cos(\omega\varphi) + \frac{1}{r_i\alpha_1}\right\}$$

$$t_0 = t_F + \frac{\dot{Q}}{\pi b}\left\{\frac{2r_a'}{\varphi_0\pi}\,\frac{\ln r_a'}{\lambda}\sum_{\omega=1}^{\infty}\left[g_0 \sin^2(\omega\varphi_0) - g_1 \sin(\omega\varphi_0)\sin\left(\omega\frac{\pi}{2}\right)\right] \cdot \frac{\omega\cosh(\omega\ln r_a') + h_i\sinh(\omega\ln r_a')}{\omega^3[\omega\sinh(\omega\ln r_a') + h_i\cosh(\omega\ln r_a')]} - \frac{\ln r_a'}{\lambda} - \frac{1}{r_i\alpha_1}\right\}$$

2.1.2. Stoffschlüssige Verbindung

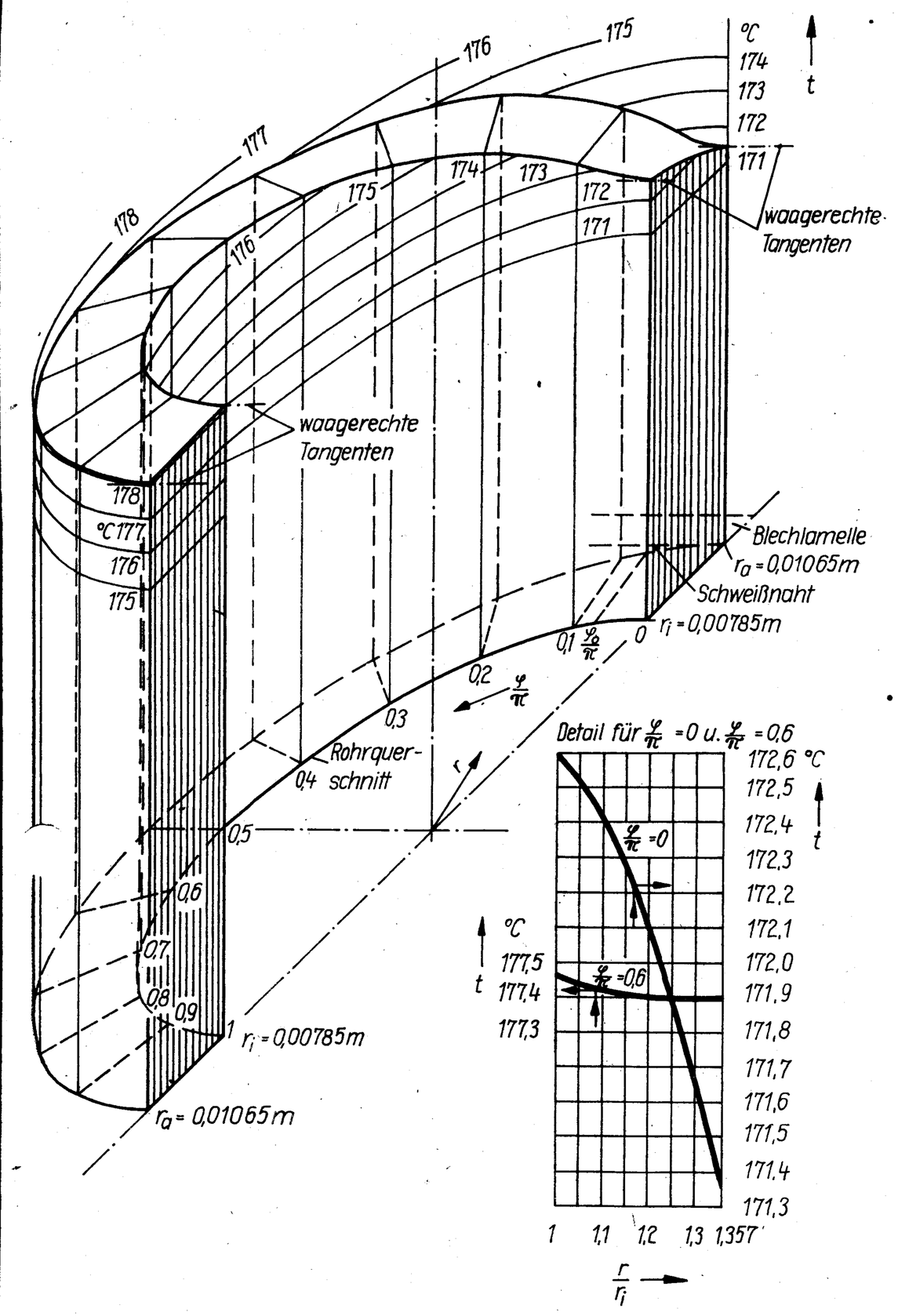
Unter Annahme einer zweidimensionalen Wärmeleitung in der Rohrwandung hat *Windisch* eine spezielle Lösung erarbeitet. Die Lösungen wurden bezüglich der Approximation der Wärmeabgabe im Rohrbereich modifiziert. Sie sind im Bild 18 wiedergegeben. Der räumliche Temperaturverlauf im Querschnitt einer Rohrwandung für ein qualitatives Beispiel ist im Bild 19 dargestellt.

2.2. Wärmeübertragung von der Lamelle an die Umgebung

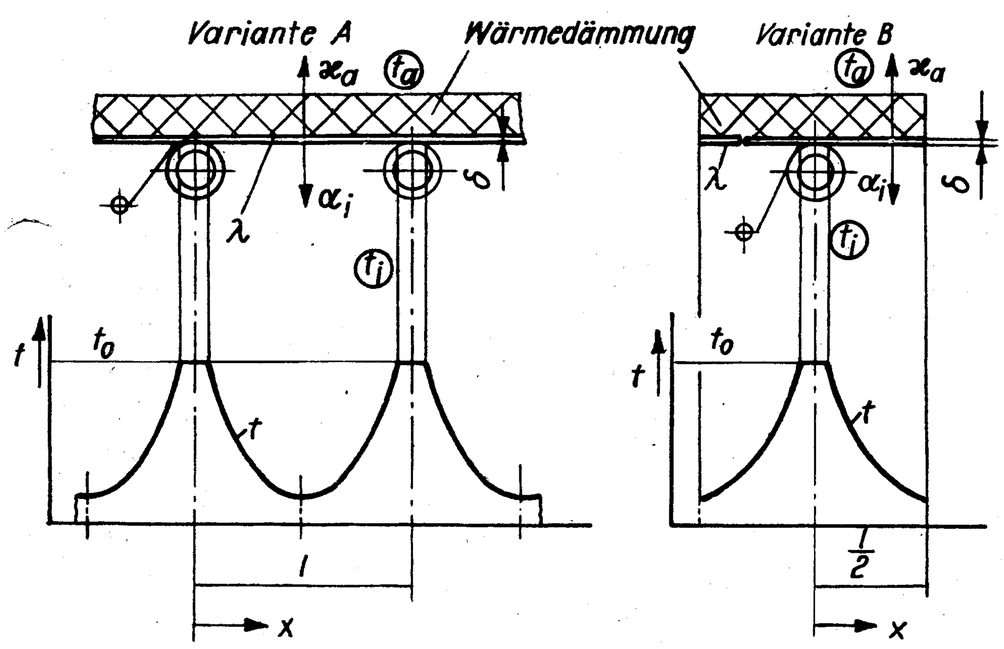
Prinzipiell sind homogene und heterogene Lamellenkonstruktionen zu unterscheiden. Letztere bestehen aus mehreren unterschiedlichen Materialschichten, wobei die gut wärmeleitenden Blechlamellen – meist Aluminium – in Massivelementen eingebettet sind oder aufliegen. Weiterhin gibt es noch durchgehende oder gestutzte Blechlamellen.

2.2.1. Homogene Lamellen

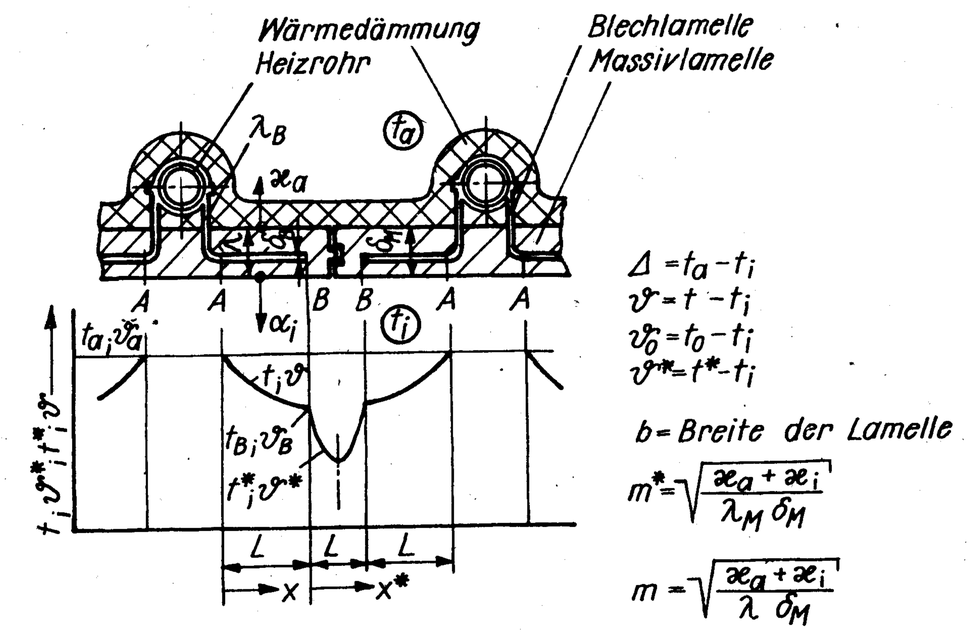
Im Bild 20 sind sowohl durchgehende als auch berandete Lamellenelemente und der qualitative Temperaturverlauf dargestellt. Die zugehörigen Berechnungsgleichungen entsprechen denen massiver Rippen (Bild 1). Lediglich sind auf der Innenseite meist keine weiteren Deckschichten angebracht, so daß $\varkappa_i \equiv \alpha_i$ gilt. Vernachlässigt man bei den berandeten Rippen die Wärmeabgabe der Stirnfläche bzw. vergrößert man rechnerisch die Lamellenlänge um die halbe Rippendicke, dann gelten bei Bezeichnung der Länge mit 1/2 (Bild 20, Variante B) inhaltlich und formal die gleichen Rand-



19



20



Verteilung der Übertemperatur

$$\vartheta = \left(\vartheta_0 - \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta\right)\frac{\cosh\left[m\left(\frac{L}{2} - x\right)\right]}{\cosh\left(m\frac{L}{2}\right)} + \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta - \left(\vartheta_0 - \vartheta_B\right)\frac{\sinh(mx)}{\sinh(mL)}$$

$$\vartheta^* = \left(\vartheta_B - \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta\right)\frac{\cosh\left[m^*\left(\frac{l}{2} - x^*\right)\right]}{\cosh\left(m^*\frac{l}{2}\right)} + \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta$$

Mittlere Übertemperatur

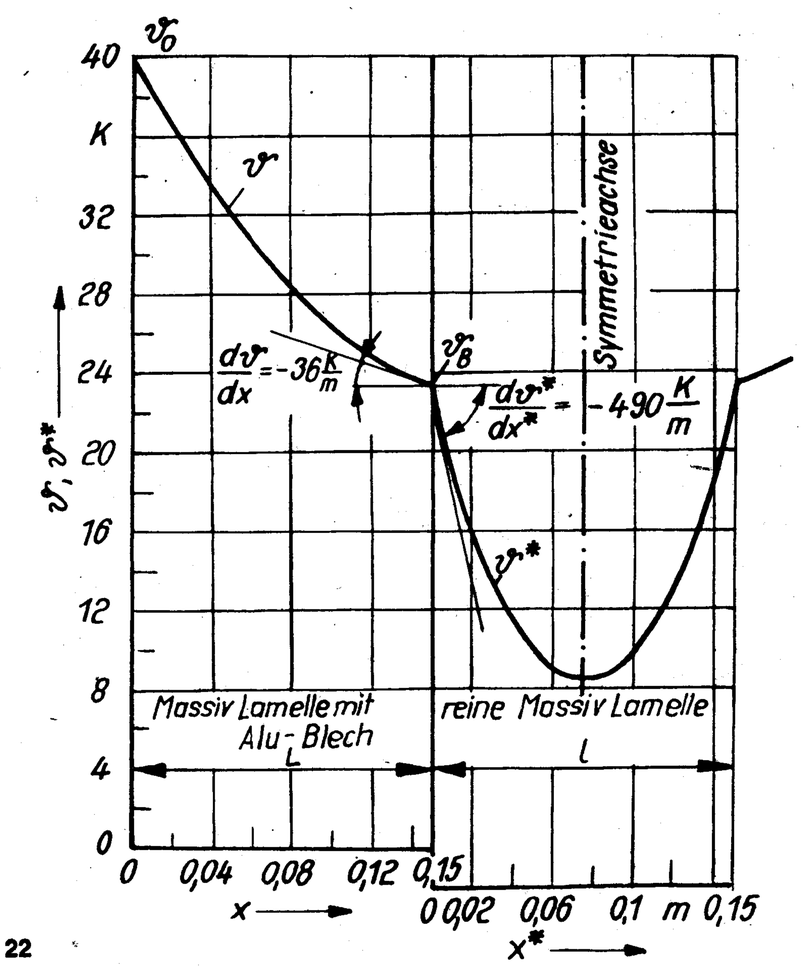
$$\vartheta_m = \left(\frac{\vartheta_0 + \vartheta_B}{2} - \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta\right)\frac{\tanh\left(m\frac{L}{2}\right)}{m\frac{L}{2}} + \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta$$

$$\vartheta_m^* = \left(\vartheta_B - \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta\right)\frac{\tanh\left(m^*\frac{l}{2}\right)}{m^*\frac{l}{2}} + \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta$$

Übertemperatur an Übergabestelle B

$$\vartheta_B = \frac{\lambda m\left\{-\left(\vartheta_0 - \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta\right)\tanh\left(m\frac{L}{2}\right) + \frac{\vartheta_0}{\tanh(mL)}\right\} + \lambda_M m^* \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta \tanh\left(m^*\frac{l}{2}\right)}{\frac{m\lambda}{\tanh(mL)} + \lambda_M m^* \tanh\left(m^*\frac{l}{2}\right)}$$

21



22

bedingungen wie bei der durchgehenden Lamelle. Damit bleiben auch die Gleichungen unverändert.

2.2.2. *Heterogene Lamellen*

2.2.2.1. *Massivlamellen mit fest eingeformter Blechlamelle*

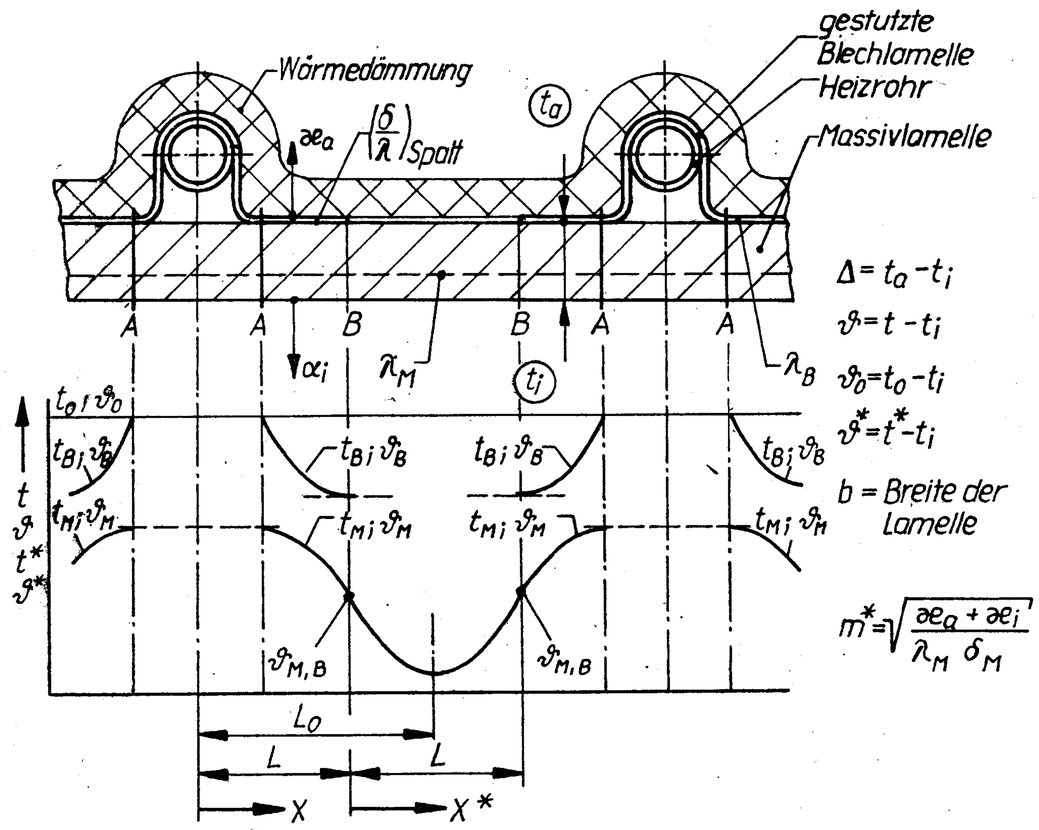
Der prinzipielle Aufbau und der zu erwartende Temperaturverlauf sind im Bild 21 gezeigt. Wegen des festen Einbaus wird angenommen, daß, ausgehend von der Übertemperatur am Rippenfuß ϑ_0, im Bereich zwischen den Querschnitten A und B die Blechlamelle und die massive Beschichtung stets eine einheitliche Übertemperatur ϑ aufweisen. Im Querschnitt B wird dann ein Wärmestrom an die Massivlamelle ohne Blecheinlage übergeben. Wegen der veränderten Wärmeleitfähigkeit kann die Temperaturkurve nicht mit gleicher Tangente weiterverlaufen. Um die bisherigen Lösungen zu verwenden, ist es zweckmäßig, zwei unterschiedliche Koordinatensysteme — nämlich ϑ, x und ϑ^*, x^* — zu benutzen. Die entsprechenden Gleichungen sind im Bild 21 angegeben. Eine Besonderheit stellt die Berechnung der Übertemperatur ϑ_B an der Übergabestelle B dar. Die Wärmestromdichten und Oberflächen-Übertemperaturen können Bild 1 entnommen werden.

Der Verlauf der Übertemperatur für ein reales Beispiel ist im Bild 22 aufgezeichnet. Die Anstiege der Kurven im Punkt B, multipliziert mit den jeweils zugehörigen Wärmeleitkoeffizienten, müssen gleiche Werte ergeben (Kontrollmöglichkeit), da der aus der zusammengesetzten Lamelle austretende Wärmestrom gleich dem in die Massivlamelle eintretenden Wärmestrom sein muß.

2.2.2.2. *Massivlamelle mit aufliegender Blechlamelle*

Die Konstruktion ist im Bild 23 dargestellt. Die Besonderheit besteht darin, daß zwischen Blech- und Massivlamelle stets ein technologisch bedingter Luftspalt auftritt. Dadurch ergeben sich im Blech höhere Temperaturen als im darunterliegenden Massivele-

ment. Die qualitativen Temperaturverläufe sind im Bild mit vermerkt. Es ist auch im vorliegenden Fall zweckmäßig, getrennte Koordinatensysteme ϑ, x und ϑ^*, x^* einzuführen. Gemäß den



Verteilung der Übertemperatur in der Blechlamelle

$$\vartheta_B = \frac{b_2 c_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1} - \sum_{n=1}^{4} \frac{b_1}{\lambda_n^2 + a_1} c_n e^{\lambda_n x}$$

Verteilung der Übertemperatur in der Massivlamelle

$$\vartheta_M = \frac{a_2 c_1}{a_2 b_1 - a_1 b_2} + \sum_{n=1}^{4} c_n e^{\lambda_n x}.$$

$$\vartheta^* = \left(\vartheta_{M,B} - \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta\right) \frac{\cosh\left[m^*\left(\frac{L}{2} - x^*\right)\right]}{\cosh\left(m^* \frac{L}{2}\right)} + \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta$$

Mittlere Übertemperaturen

$$\vartheta_{B,m} = \frac{b_2 c_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1} - \frac{1}{L} \sum_{n=1}^{4} \frac{b_1}{\lambda_n^2 + a_1} \frac{c_n}{\lambda_n} \left(e^{\lambda_n L} - 1\right)$$

$$\vartheta_{M,m} = \frac{a_2 c_1}{a_2 b_1 - a_1 b_2} + \frac{1}{L} \sum_{n=1}^{4} \frac{c_n}{\lambda_n} \left(e^{\lambda_n L} - 1\right)$$

$$\vartheta_m^* = \left(\vartheta_{M,B} - \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta\right) \frac{\tanh\left(m^* \frac{L}{2}\right)}{m^* \frac{L}{2}} + \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta$$

Berechnung der Konstanten

$$a_1 = -\frac{\varkappa_a + \left(\frac{\lambda}{\delta}\right)_{Spalt\,BL/ML}}{\lambda_B \delta_B} \qquad a_2 = \frac{\left(\frac{\lambda}{\delta}\right)_{Spalt\,BL/ML}}{\lambda_M \delta_M}$$

$$b_1 = \frac{\left(\frac{\lambda}{\delta}\right)_{Spalt\,BL/ML}}{\lambda_B \delta_B} \qquad b_2 = -\frac{\varkappa_i + \left(\frac{\lambda}{\delta}\right)_{Spalt\,BL/ML}}{\lambda_M \delta_M}$$

$$c_1 = -\frac{\varkappa_a}{\lambda_B \delta_B}\Delta \qquad H = m^* \tanh\left(m^* \frac{L}{2}\right)$$

$$\lambda_{1,2,3,4} = \pm\sqrt{-\frac{a_1 + b_2}{2} \pm \sqrt{\frac{(a_1 + b_2)^2}{4} - a_1 b_2 + b_1 a_2}}$$

$$\begin{pmatrix} -\frac{b_1}{\lambda_1^2 + a_1}, & -\frac{b_1}{\lambda_2^2 + a_1}, & -\frac{b_1}{\lambda_3^2 + a_1}, & -\frac{b_1}{\lambda_4^2 + a_1} \\ \lambda_1, & \lambda_2, & \lambda_3, & \lambda_4 \\ -\frac{b_1 \cdot \lambda_1}{\lambda_1^2 + a_1} e^{\lambda_1 L}, & -\frac{b_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_2^2 + a_1} e^{\lambda_2 L}, & -\frac{b_1 \cdot \lambda_3}{\lambda_3^2 + a_1} e^{\lambda_3 L}, & -\frac{b_1 \cdot \lambda_4}{\lambda_4^2 + a_1} e^{\lambda_4 L} \\ e^{\lambda_1 L}(\lambda_1 + H), & e^{\lambda_2 L}(\lambda_2 + H), & e^{\lambda_3 L}(\lambda_3 + H), & e^{\lambda_4 L}(\lambda_4 + H) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \vartheta_0 - \frac{b_2 c_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1} \\ 0 \\ 0 \\ \left(-\frac{a_2 c_1}{a_2 b_1 - a_1 b_2} + \frac{\varkappa_a}{\varkappa_i + \varkappa_a}\Delta\right) H \end{pmatrix}$$

Randbedingungen, daß die Blechlamelle an ihrer Stirnseite B keine Wärme abgibt (vgl. auch Annahme bei homogener berandeter Lamelle) und der Massivlamelle am Punkt A durch mögliche Rißbildung kein Wärmestrom zugeführt wird (Sicherheit), erklären sich die waagerechten Tangenten $d\vartheta_B/dx|_{x=L} = 0$ und $d\vartheta_M/dx|_{x=0} = 0$

Weiterhin muß in der Massivlamelle an der Stelle B $d\vartheta_M/dx = d\vartheta^*/dx^*$ gelten, daß heißt, an der Stelle B weist der Übertemperaturverlauf keinen singulären Punkt auf. Für die Berechnung der Konstanten gelten die Gleichungen des Bildes 24.

Das Lösen der Matrizengleichung erfolgt zweckmäßigerweise mit Hilfe der EDV. Die Wärmestromdichten entsprechen wiederum dem Bild 1.

2.3. Praktische Berechnung

In den vorangegangenen Abschnitten wurde für die verschiedensten Konstruktionen von Strahlplatten und anderen Elementen mit lamellenförmigem Aufbau der Zusammenhang zwischen Heizmedientemperatur und Rippenfußtemperatur sowie zwischen Rippenfußtemperatur und Lamellentemperatur einschließlich deren Mitteltemperatur abgeleitet. Es besteht also Kenntnis über

$$t_F = f\,(t_0, \dot{Q}_0) \tag{1}$$

und

$$t = f\,(t_0) \rightarrow t_m = f\,(t_0) \rightarrow \dot{Q}_0 = f\,(t_0). \tag{2}$$

Nunmehr ergibt sich einerseits die Aufgabe, die Verknüpfung zwischen beiden funktionellen Beziehungen herzustellen sowie die Gesamt-Wärmeabgabe der Konstruktion — bestehend aus Rohrbereich und Lamellenbereich — zu ermitteln. Die Übergabeparameter zwischen den Algorithmen Gl. (1) und (2) sind die sogenannte Rippenfußtemperatur t_0 und der Wärmestrom $\dot{Q}_0$, der vom Rippenfuß in die halbe Lamelle fließt. In einigen Fällen ist es möglich, eine geschlossene Lösung durch Substitution herzustellen.

Generell erscheint es zweckmäßig, die Nahtstelle „offen" zu belassen. Die Gründe dafür sind:

- Die Gleichungen würden enorm aufgebläht, ohne daß die eigentliche Berechnung vereinfacht wird;
- Die Kombinationen zwischen den verschiedenen Verbindungskonstruktionen Rohr-Lamelle und den unterschiedlichen Lamellenkonstruktionen sollen stets möglich sein;
- Wird die Abhängigkeit der Wärmeübergangskoeffizienten von den jeweiligen Oberflächentemperaturen der beheizten Platten berücksichtigt, dann ist eine explizite Darstellung von t_0 oder gar von t_F ohnehin illusorisch.

23 Es werden deshalb folgende Verfahrensweisen zur Diskussion gestellt:

A: Ausgehend von t_0 wird die Wärmeabgabe der Lamelle berechnet, wobei die Wärmeübergangskoeffizienten α_i und α_a durch Wiederholung des Berechnungszyklus, beginnend von einer Schätzung, dem richtigen Wert anzugleichen sind. Mit Kenntnis von t_0 und $\dot{Q}_0$ ist die Heizmedientemperatur t_F bestimmbar. Die Wärmeabgabe des Rohrbereiches bedarf der zusätzlichen Erfassung.

B: Vorgegeben wird die mittlere Oberflächentemperatur auf der Innenseite t_{mi}. Damit ist α_i eindeutig determiniert, so daß eine einmalige Berechnung bereits die realen Verhältnisse erfaßt. Die Anpassung der äußeren Wärmeübergangsbedingungen erfolgt unproblematisch, da die Größe des Teil-Wärmedurchgangskoeffizienten $\varkappa_a$ in erster Linie durch die in der Regel vorhandene Dämmschicht und nur in geringerem Maße durch α_a beeinflußt wird. Damit ist die Gesamt-Wärmeabgabe der Lamelle ermittelbar. Die Berechnung der Rippenfußtemperatur t_0 kann sofort erfolgen, wenn es sich um homogene Lamellen handelt. Nachdem t_0 und $\dot{Q}_0$ bekannt sind, ist über den Algorithmus $t_F = f\,(t_0, \dot{Q}_0)$ auf die Heizmedientemperatur zu schließen. Die Wärmeabgabe des Rohrbereiches muß anschließend erfaßt werden.

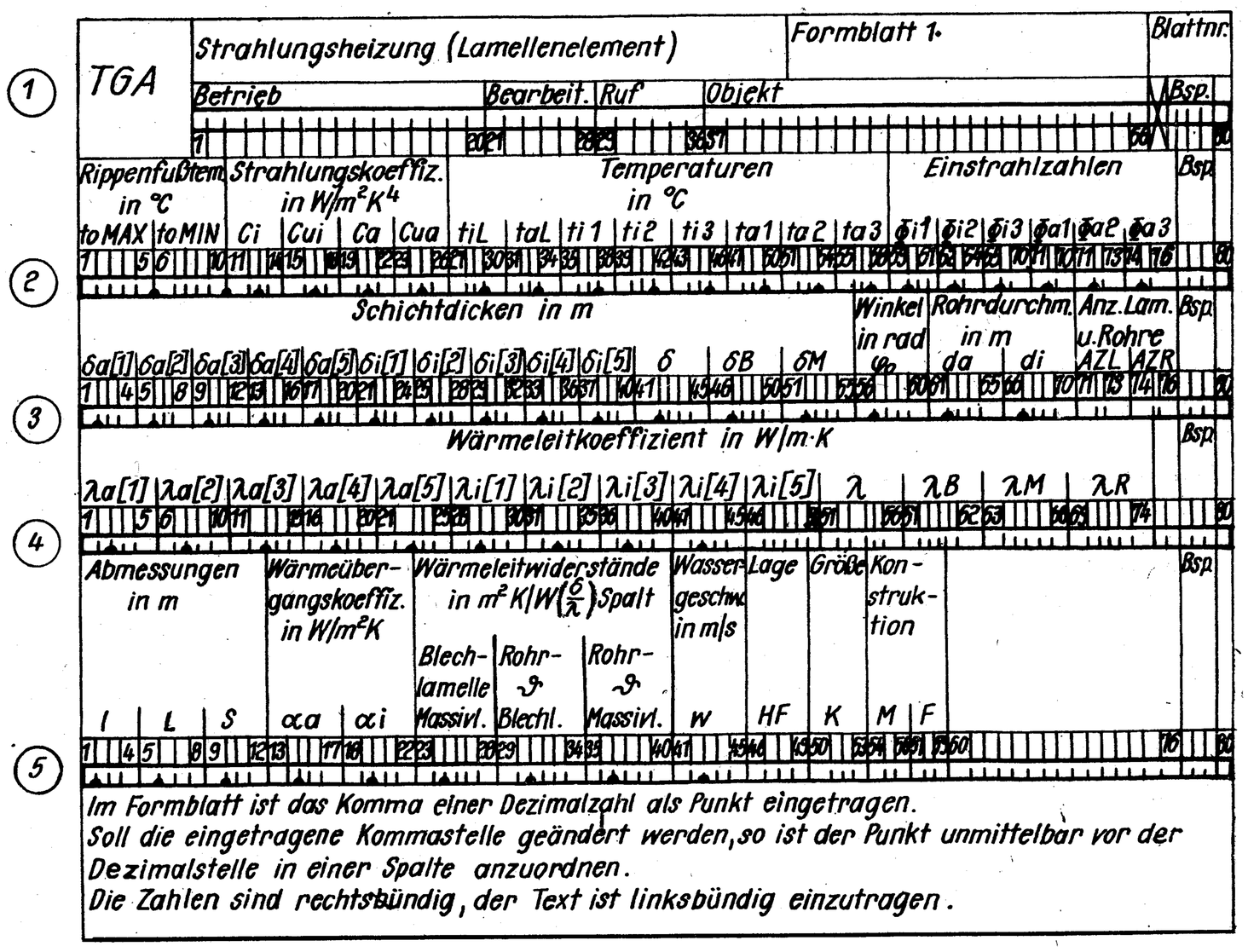
Die Variante A hat den Vorteil, für die in den Abschnitten 2.1. und 2.2. aufgestellten Algorithmen sofort anwendbar zu sein. Der Nachteil liegt in der iterativen Einarbeitung der Wärmeübergangsverhältnisse. Da letzteres bei Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung keinen Hinderungsgrund darstellt, erscheint Variante A als prädestiniert für den Aufbau eines Rechenprogramms. Variante B sollte angewendet werden, wenn die wärmetechnischen Größen homogener Lamellen manuell zu berechnen sind. 24

Daß man in beiden Fällen zweckmäßigerweise nicht von einer bestimmten Heizmedientemperatur ausgeht, kann nicht als Nachteil gewertet werden, da in der Regel ohnehin Leistungskurven für bestimmte Konstruktionen in Abhängigkeit der mittleren Medientemperaturen gefordert werden.

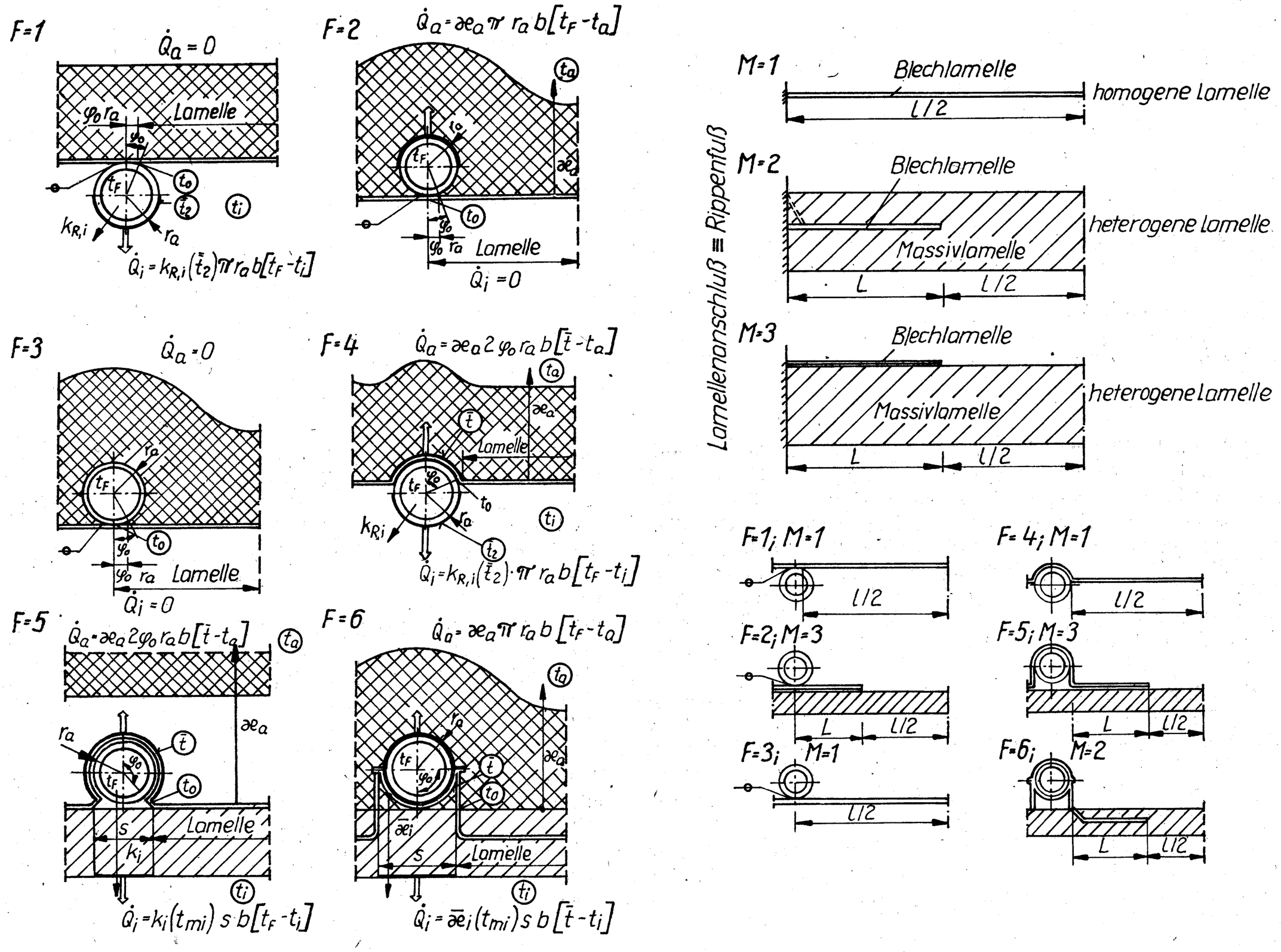
2.4. Katalogisierte Anwendung

Um das Rechenprogramm zu benutzen, muß lediglich das im Bild 25 gezeigte Formblatt ausgefüllt werden. Wegen der Vielzahl der denkbaren Varianten erscheinen Tabellenwerke analog Bild 13 nicht sinnvoll. Statt dessen kann der Ingenieur unter Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung schöpferisch Varianten kombinieren und konstruieren, die sofort wärmetechnisch überprüfbar sind. Die möglichen Anschluß- und Lamellenkonstruktionen können Bild 26 entnommen werden. Obwohl die theoretischen Probleme bezüglich der Ermittlung der Wärmeabgabe prinzipiell gelöst wurden, verbleibt die typisch ingenieurmäßige Aufgabe, die geeigneten Approximationen für die den Berechnungen zugrunde zu legenden Abmessungen, Temperaturen, Wärmeübergangskoeffizienten u. a. m. zu finden. Dabei ist es wichtig, den Aufwand in Relation zur Genauigkeit zu sehen. Die Rohre geben je nach Konstruktion außer an die Lamelle auch an die innere und äußere Umgebung Wärme ab. Die in Ansatz gebrachten wärmeabgebenden Flächen sind im Bild 26 dick gezeichnet. Zur Beurteilung über die Güte dieser Näherung muß der Definitionsbereich der Lamelle mit gesehen werden. Er ist bei den Darstellungen jeweils vermerkt. Entsprechend der Berechnungsgrundlage für die Lamellen wird im Bereich der gesamten Lamellenoberfläche ein Wärmestrom nach innen und außen angenommen. Bild 26 zeigt insgesamt sechs verschiedene

25



26



Konstruktionen. Die Bezeichnungen sind in Übereinstimmung mit dem Rechenprogramm gewählt. Als Grundprinzip wird bei der Berechnung der Wärmeströme davon ausgegangen, daß Teil-Wärmedurchgangskoeffizienten im wärmegedämmten Bereich gleich denen der gedämmten Lamelle gesetzt, daß Wärmeübergangskoeffizienten der nackten Rohroberfläche entsprechend den wirklichen Rohroberflächentemperaturen neu bestimmt und daß beim Wärmedurchgang durch unter dem Rohr liegende Massivlamellen für die Berechnung die Wärmeübergangskoeffizienten des Lamellenbereiches verwendet werden.

Der Heizungsprojektant kann durch Kombination der Varianten F und M (Bild 26) sowie der wählbaren Abmessungen beispielsweise folgende Angaben lösen oder Optimierungen vornehmen:

- Wärmeabgabe der Lamellenkonstruktion für bestimmte R_a in Funktion der gewählten Abmessungen
- größte spezifische Wärmeabgabe für bestimmtes R_a, bezogen auf den Materialeinsatz (Stahl, Aluminium, Gips)
- größte spezifische Wärmeabgabe für bestimmtes R_a, bezogen auf die bautechnischen Kosten.

3. Überprüfung der Behaglichkeit

Da sich weitere Autoren mit diesem Problem beschäftigen, können die Aussagen dazu kurzgefaßt werden. Grundsätzlich sind Nachweise bezüglich der Kriterien

- behagliche Kopfentwärmung
- behagliche Empfindungstemperatur

zu führen. Ausgehend von der experimentellen Forschung *Chrenkos,* der erweiterten Darstellung *Kollmars,* der analytischen extrapolierbaren Fassung *Macskásys* sowie deren Vertiefung und Erweiterung durch *Kraft* und *Windisch,* müssen, um praktikabel zu bleiben, geometrisch einfache Elemente — für die die Wärmebilanzen aufzustellen sind — die Grundlage bilden.
Dies sollten zum Nachweis des

1. Kriteriums: Flächenelemente
2. Kriteriums: Kugeln mit infinitesimal kleinem Durchmesser

sein. Die Annahme im letzten Fall sei damit begründet, daß es nicht notwendig ist, die Empfindungstemperatur genauer zu berechnen, als diese dann mit dem Kugelthermometer meßtechnisch erfaßt werden kann.

Basis für die Nachweisführung, auf die aus bereits genannten Gründen nicht näher eingegangen werden soll, ist die Kenntnis der Einstrahlzahlen. Die Ermittlung erfordert normalerweise großen Aufwand, und die mitunter angebotenen Näherungen werden den Anforderungen nicht gerecht. Es wurde deshalb ein Rechenprogramm (vgl. [1]) erarbeitet, mit dem praktisch alle denkbaren Einstrahlzahlen ermittelbar sind.

3.1. Katalogisierte Anwendung

Durch eine Vielzahl von Berechnungen konnten sofort anwendbare Diagramme aufgestellt werden. Die Einstrahlzahlen wurden für die in der Praxis üblichen Strahlplatten der Abmessungen 1 m $\times$ 4 m und 1 m $\times$ 6 m berechnet. Die Strahlplatten sind dabei parallel, senkrecht sowie unter 45° zur Grundfläche angeordnet. Zur eindeutigen Fixierung der geometrischen Lage der Mitte der Strahlplatten wurde ein rechtwinkliges Koordinatensystem benutzt. Im Ursprungspunkt befindet sich jeweils das infinitesimal kleine Flächen- oder kugelförmige Element. Die Wiedergabe der Einstrahlzahl wurde auf Werte $\varphi \geqq 0{,}0001$ begrenzt. Die Handhabung und die Möglichkeiten der Nutzung sind in [1] dargestellt. Insgesamt liegt eine Sammlung von 84 Diagrammen vor.

4. Zusammenfassung

Im Institut Technische Gebäudeausrüstung wurden Anstrengungen unternommen, um die in der Praxis noch vorhandenen Vorurteile gegen die Bemessung von Strahlungsheizungen zu vermindern. Zu diesem Zweck sind außer einer Zusammenstellung und Ergänzung der theoretischen Ableitungen Bemessungsunterlagen für die direkte Anwendung erarbeitet worden. Diese sind katalogartig zusammengestellt in Form von Ergebnistabellen oder in Form von einfach kombinierbaren Konstruktionselementen, die dann eine automatisierte wärmetechnische Berechnung erfahren.

Der Vorteil der Ausarbeitungen ist darin zu sehen, daß

- Theorien der Bemessung zugrunde gelegt werden können, die der manuellen Berechnung bisher nicht zugängig waren;
- Kennfelder wärmetechnischer Daten ermittelt wurden, die weitere Optimierung nach den verschiedensten Bezugsgrößen gestatten.

Im Ergebnis sind somit die Verkürzung der Projektierungszeit und bessere Materialausnutzung erreichbar.

Literatur

[1] *Glück, B.:* Bausteine zur rationellen Projektierung von Wasserheizungssystemen — Einstrahlzahlen von Strahlplatten auf ein Flächenelement, VEB TGA — Institut —