

Angleich von Heizflächen im Einrohrsystem

Heizflächengrößen bei Einrohrheizungen mit vollem und anteiligem Massestrom über die Heizkörper sowie gleichbleibender und rhythmisch wechselnder Durchströmungsrichtung

Vielfach wurden zur Heizflächenersparnis Einrohrsysteme mit hintereinander geschalteten Heizflächen, die im Vollastfall mit dem gesamten Massestrom beaufschlagt werden, gebaut. Dies trifft beispielsweise auf die vertikalen Einrohrsysteme Ostdeutschlands zu. Die Größenunterschiede zwischen den Heizflächen, die am Anfang und am Ende eines Stranges liegen, sind bei diesen Schaltungen extrem groß. Im Gegensatz dazu wurden in Westdeutschland Einrohrsysteme, deren Heizflächen nur im Teilstrom beaufschlagt werden, installiert. Im Sonderfall sind diese mit wechselnder Durchströmung als sogenannte „Perpendikelheizung“¹⁾ ausgeführt worden. Bei gleicher geforderter Wärmeleistung ergeben sich näherungsweise gleiche Heizflächengrößen. Im folgenden Beitrag sollen die Heizflächenverteilungen gegenübergestellt und Bemessungsalgorithmen vorgeschlagen werden.

Dr. sc. techn., Dr.-Ing. **Bernd Glück**, Hamburg

Wärmeabgabe der Heizfläche

Nach [1] gilt für die Wärmeleistung eines Heizkörpers

$$\dot{Q} = \pi \sigma \beta f_E f_F \dot{Q}_n \quad (1),$$

mit

$\dot{Q}_n$ Normwärmeleistung des Heizkörpers bei nachfolgenden Normbedingungen (Index „n“)

$$\begin{aligned} t_{i,n} &= 20 \text{ °C} && \text{Raumtemperatur} \\ t_{v,n} &= 90 \text{ °C} && \text{Vorlauftemperatur} \\ t_{R,n} &= 70 \text{ °C} && \text{Rücklauftemperatur} \\ p_n &= 1013,3 \text{ hPa} && \text{Luftdruck} \end{aligned}$$

π Korrekturfaktor bei von p_n abweichendem Luftdruck p

$$\pi = \left[s + (1 - s) \left(\frac{p_n}{p} \right)^{2(n-1)} \right]^{-1} \quad (2),$$

s Strahlungsanteil
 n Heizflächenexponent
In DIN 4704 werden für s und n spezielle Werte zu Anwendung in Gl. (2) genannt.

σ Korrekturfaktor bei von $\dot{m}_n$ abweichendem Massestrom $\dot{m}$

$$\sigma = \sigma_\infty - \exp(x_1 \mu + x_2 \mu^2 + x_3 \mu^3) \text{ oder } \sigma = \mu^x \quad (3),$$

μ Massestromverhältnis bzw. Wärmekapazitätsstromverhältnis

$$\mu = \dot{m} / \dot{m}_n = \dot{C}_H / \dot{C}_{H,n}$$

x Koeffizient bzw. Exponent bezogen auf den speziellen Heizkörper

σ_∞ Leistungsverhältnis bei sehr großem Massestrom und sonstigen Normbedingungen

β Korrekturfaktor bei von $\bar{\vartheta}_n = \bar{t}_n - t_i$ abweichenden mittleren Übertemperaturen $\bar{\vartheta}$

$$\beta = \left(\frac{\bar{\vartheta}}{\bar{\vartheta}_n} \right)^n = \left(\frac{\bar{t} - t_i}{\bar{t}_n - t_{i,n}} \right)^n \quad (4),$$

$\bar{t}$ mittlere Heizmedientemperatur

t_i Raumtemperatur

$\bar{\vartheta}$ mittlere Heizmedienübertemperatur

Die mittlere Heizmedienübertemperatur kann mit verschiedenartigen Mittelungen berechnet werden. Für die Normbedingungen gelten ($\vartheta_n \equiv \bar{\vartheta}_n$):
arithmetisches Mittel

$$\vartheta_n = \frac{70 + 50}{2} \text{ K} = 60 \text{ K}$$

logarithmisches Mittel

$$\vartheta_n = \frac{70 - 50}{\ln \frac{70}{50}} \text{ K} = 59,44 \text{ K}$$

integrales Mittel nach der später abgeleiteten Gl. (24)

$$\vartheta_n = \frac{1,3 - 1}{1,3 - 2} \frac{50^{2-1,3} - 70^{2-1,3}}{50^{1-1,3} - 70^{1-1,3}} \text{ K} = 59,27 \text{ K}.$$

Für die weiteren Berechnungen wird das logarithmische Mittel verwendet.

f_E Korrekturfaktor bei Heizkörperverkleidungen oder Nischeneinbau

f_F Korrekturfaktor bei speziellen Farbanstrichen mit Emissionsgraden $\varepsilon < \varepsilon_n = 0,93$.

¹⁾ Rietschel & Henneberg sowie Rud. Otto Meyer

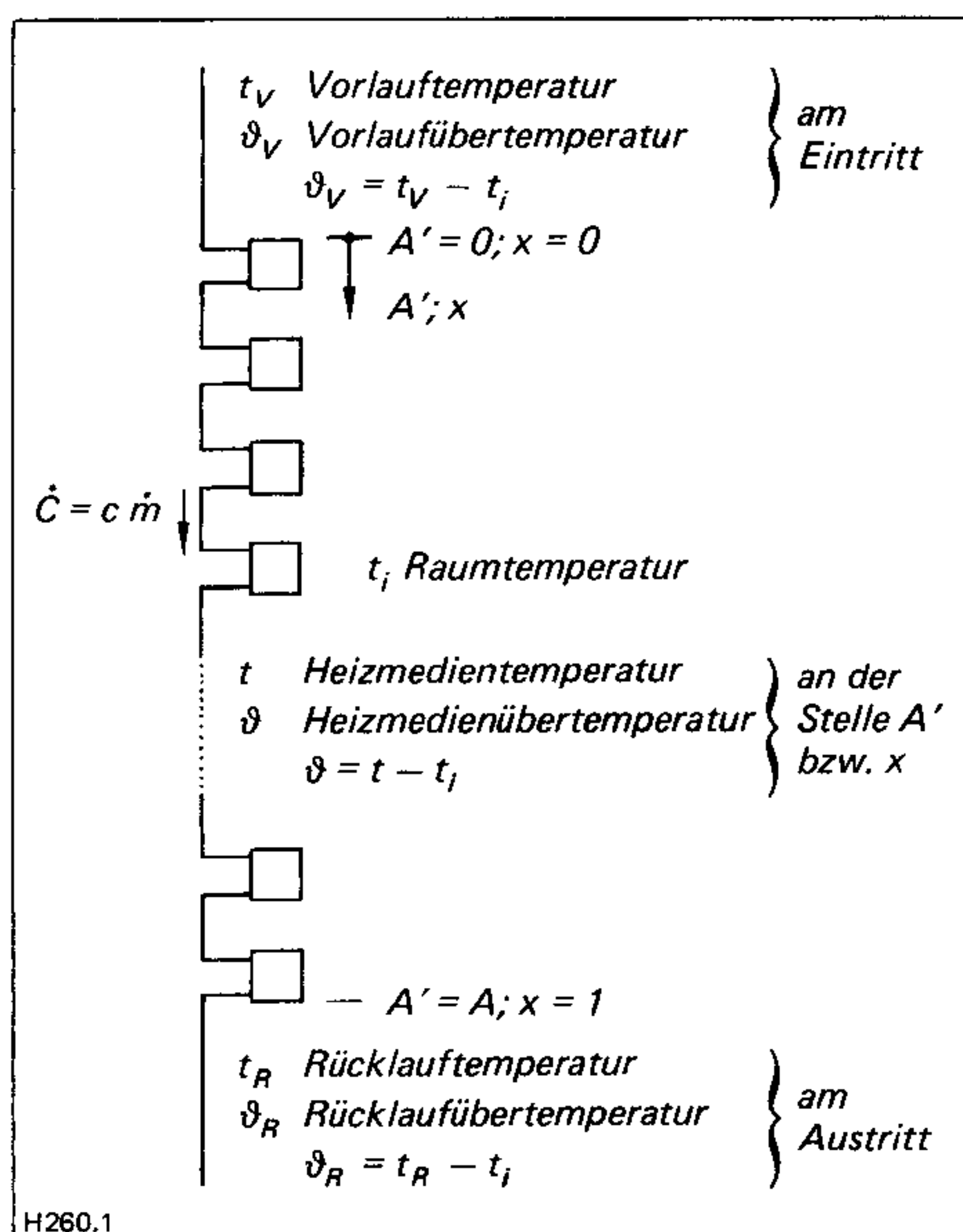


Bild 1: Einrohrstrang mit vollbeaufschlagten Heizflächen und Kennzeichnung der wärmetechnischen Gegebenheiten

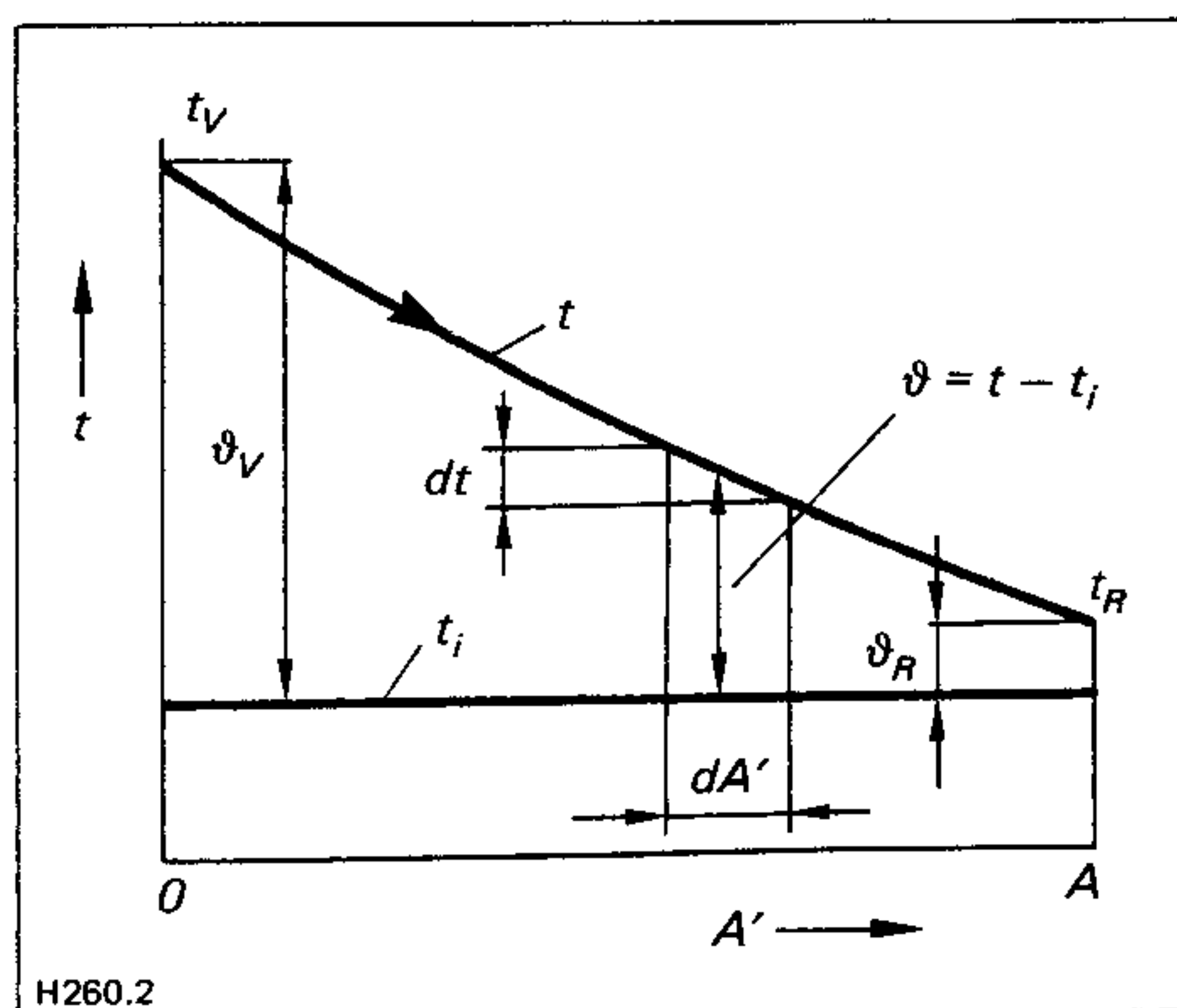


Bild 2: Temperatur t des Heizmediensstromes (\dot{C} = \dot{m} c) längs der Heizfläche bei konstanter Raumtemperatur t_i

$$f_F = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_n} s + (1 - s) \quad (5)$$

Der in Gl. (4) benötigte Heizflächenexponent n ist bei niedrigen Überetemperaturen kleiner als der Exponent bei der Normprüfung n . Es empfehlen sich die Approximationen

$$n = n_n [1 - \exp(z_1 \delta + z_2 \delta^2 + z_3 \delta^3)] \text{ oder } n = n_n \delta^z \quad (6)$$

mit

δ Überetemperaturquotient $\delta = \bar{\vartheta}/\vartheta_n$

z Koeffizient bzw. Exponent bezogen auf den speziellen Heizkörper.

Die praktische Anwendung der genannten Ansätze ist in [1] beispielhaft erläutert.

Überetemperatur längs einer kontinuierlichen Heizfläche

Es werde eine Heizfläche, die längs eines Stranges gemäß Bild 1 verteilt ist und deren Verbindungsleitungen adiabatisch gedämmt sind, betrachtet. Die Heizflächenkoordinate A läuft dabei von $A' = 0$ bis $A' = A$ der Gesamtheizfläche des Stranges. Mitunter ist auch die dimensionslose Darstellung der Heizfläche

$$x = A'/A \quad (7)$$

zweckmäßig, wobei der Bereich $x = 0$ bis $x = 1$ durchlaufen wird.

Weiterhin sei vereinfachend Gl. (4) mit konstantem Heizflächenexponent n angenommen. Dieser Zusammenhang ist identisch mit der Beziehung für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Heizfläche

$$k = k_n \left(\frac{\vartheta}{\vartheta_n} \right)^{n-1} \quad (8)$$

wenn für die Heizmedienüberetemperatur

$$\vartheta = t - t_i \quad (9)$$

mit

t Heizmedientemperatur

t_i Raumtemperatur (konstant längs der Heizfläche)

gilt. Bild 2 zeigt den Temperaturverlauf längs der Heizfläche A' . Es lässt sich die Differentialgleichung für den Wärmestrom

$$d\dot{Q} = -\dot{m} c dt = k(t - t_i) dA' \quad (10)$$

aufstellen. Mit dem Wärmekapazitätsstrom des Heizmediums

$$\dot{C} = c \dot{m} \quad (11)$$

und dessen Überetemperatur folgt

$$d\dot{Q} = -\dot{C} d\vartheta = k_n \frac{\vartheta^n}{\vartheta_n^{n-1}} dA' \quad (12)$$

Nach Festlegen der Integrationsgrenzen ergibt sich

$$-\dot{C} \int_{\vartheta_V}^{\vartheta} \vartheta^{-n} d\vartheta = k_n \vartheta_n^{1-n} \int_0^{A'} dA' \quad (13)$$

Die Integration liefert den Überetemperaturverlauf entlang der Heizfläche A' für $n \neq 1$:

$$\vartheta = \left[\vartheta_V^{1-n} + (n-1) \frac{k_n A'}{\dot{C}} \vartheta_n^{1-n} \right]^{\frac{1}{1-n}} \quad (14)$$

Wird die Integration der Gl. (13) über die gesamte Heizfläche A geführt, so ergibt sich

$$\vartheta_R^{1-n} - \vartheta_V^{1-n} = (n-1) \frac{k_n A}{\dot{C}} \vartheta_n^{1-n} \quad (15)$$

Substituiert man diese Gleichung in Gl. (14) unter Beachten der Beziehung $A' = xA$, so folgt die Überetemperatur an der Stelle x

$$\vartheta = [\vartheta_V^{1-n} + x(\vartheta_R^{1-n} - \vartheta_V^{1-n})]^{1/1-n} \quad (16)$$

beziehungsweise

$$\vartheta = [(1-x)\vartheta_V^{1-n} + x\vartheta_R^{1-n}]^{1/1-n} \quad (17)$$

Überetemperatur bei wechselnder Durchströmung

Bei entgegengesetzter Durchströmung – Index G – des Stranges ergibt sich an der ursprünglichen Stelle x die aus Gl. (16) folgende Überetemperatur

$$\vartheta_G = [\vartheta_V^{1-n} + (1-x)(\vartheta_R^{1-n} - \vartheta_V^{1-n})]^{1/1-n} \quad (18)$$

beziehungsweise

$$\vartheta_G = [x\vartheta_V^{1-n} + (1-x)\vartheta_R^{1-n}]^{1/1-n} \quad (19)$$

Für zeitlich gleiche Umschaltakte errechnet sich ohne Beachtung der speziellen Verhältnisse während des Umsteuerns die Überetemperatur bei Wechselbetrieb an der Stelle x in Form des zeitlichen Mittelwertes zu

$$\vartheta_W = 0,5(\vartheta + \vartheta_G) \quad (20)$$

$$\vartheta_W = 0,5 [(1-x)\vartheta_V^{1-n} + x\vartheta_R^{1-n}]^{1/1-n} + 0,5 [x\vartheta_V^{1-n} + (1-x)\vartheta_R^{1-n}]^{1/1-n} \quad (21).$$

Mittlere Übertemperatur

Die mittlere Übertemperatur über die Gesamtfläche A ergibt sich unabhängig von der Durchströmungsrichtung nach Berechnung von

$$\bar{\vartheta}_A = \frac{1}{A} \int_0^A \vartheta dA' \quad (22)$$

zu

$$\bar{\vartheta}_A = \frac{\dot{C} \vartheta_n^{n-1}}{k_n A (n-2)} \cdot \left\{ \left[\vartheta_V^{1-n} + (n-1) \frac{k_n A}{\dot{C}} \vartheta_n^{1-n} \right]^{\frac{2-n}{1-n}} - \vartheta_V^{2-n} \right\} \quad (23)$$

bzw. unter Verwendung der Austrittstemperaturen

$$\bar{\vartheta}_A = \frac{n-1}{n-2} \frac{\vartheta_R^{2-n} - \vartheta_V^{2-n}}{\vartheta_R^{1-n} - \vartheta_V^{1-n}} \quad (24).$$

Auswertung

Die Gln. (17; 21 sowie 24) sind für verschiedene Auslegungstemperaturen ausgewertet und im *Bild 3* aufgezeichnet worden. Die eingetragenen Prozentwerte geben die Übertemperaturen an den betreffenden Stellen im Verhältnis zur höchsten Übertemperatur bei der jeweiligen Durchflußart an.

Es leiten sich folgende Feststellungen ab:

- Die mittlere Übertemperatur am Eintritt der einzelnen Heizkörper (vgl. *Bild 1*) ist bei wechselseitiger Durchströmung nicht konstant. Sie entspricht an den Strangenden dem arithmetischen Mittel aus der Vor- und Rücklauf-Übertemperatur (ϑ_V ; ϑ_R) sowie in Heizflächenmitte dem gleichen Wert wie bei einseitiger Durchströmung.
- Entscheidenden Einfluß auf die Ungleichförmigkeit der Übertemperaturverteilung nimmt die relative Temperaturspreizung $(\vartheta_V - \vartheta_R)/\vartheta_V$ (*Bild 4*). Während bei einseitiger Durchströmung die größten Unterschiede zwischen Strangende sowie Stranganfang auftreten, die durch ϑ_R/ϑ_V charakterisiert werden und stets zu beachten sind, erweisen sich bei wechselnder Beaufschlagung die Abweichungen von Strangmitte zu Stranganfang $\vartheta_{x=0,5}/\vartheta_V$ als relevant. Sie sind erst für $(\vartheta_V - \vartheta_R)/\vartheta_V > 0,3$ zu berücksichtigen, da sich dann die Übertemperaturen um mehr als 2% unterscheiden.
- Die im *Bild 3* vermerkten Klammerwerte wurden für den Heizflächenexponenten $n = 1,25$ errechnet. Es zeigt sich, daß im praktisch üblichen Bereich $n = 1,25$ bis $1,3$ dieser Einfluß unberücksichtigt bleiben kann.

Bemessung

Legt man ein so einfaches System – wie im *Bild 5* dargestellt – zugrunde, so ergibt sich die Gesamtheizfläche A aus Gl. (15)

$$A = \frac{\dot{C}}{(n-1)k_n} \vartheta_n^{n-1} (\vartheta_R^{1-n} - \vartheta_V^{1-n}) \quad (25).$$

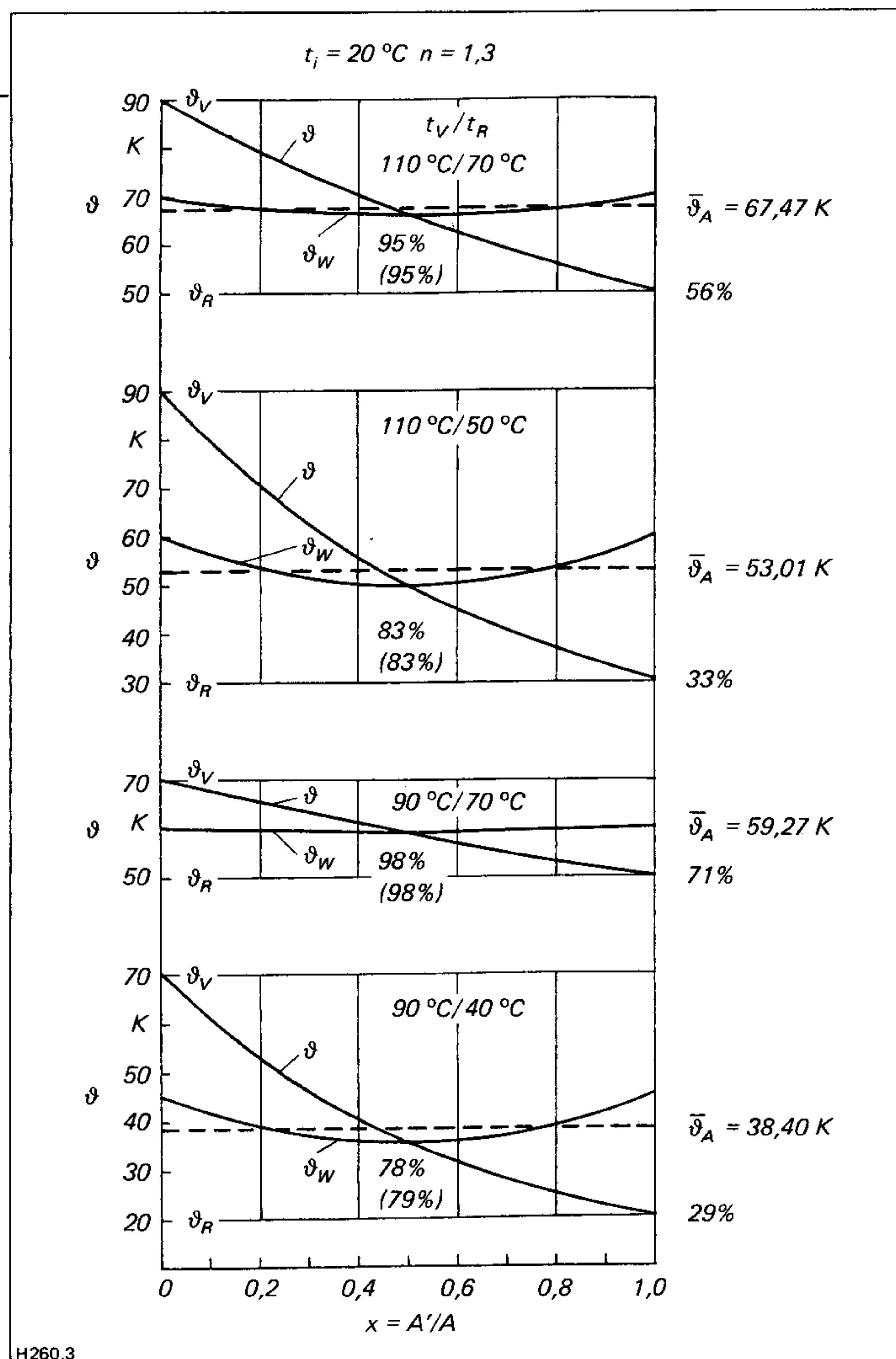


Bild 3: Übertemperaturverläufe bei gleichbleibender und wechselnder Durchströmung längs eines Einrohrstranges in Abhängigkeit der Auslegungstemperaturen

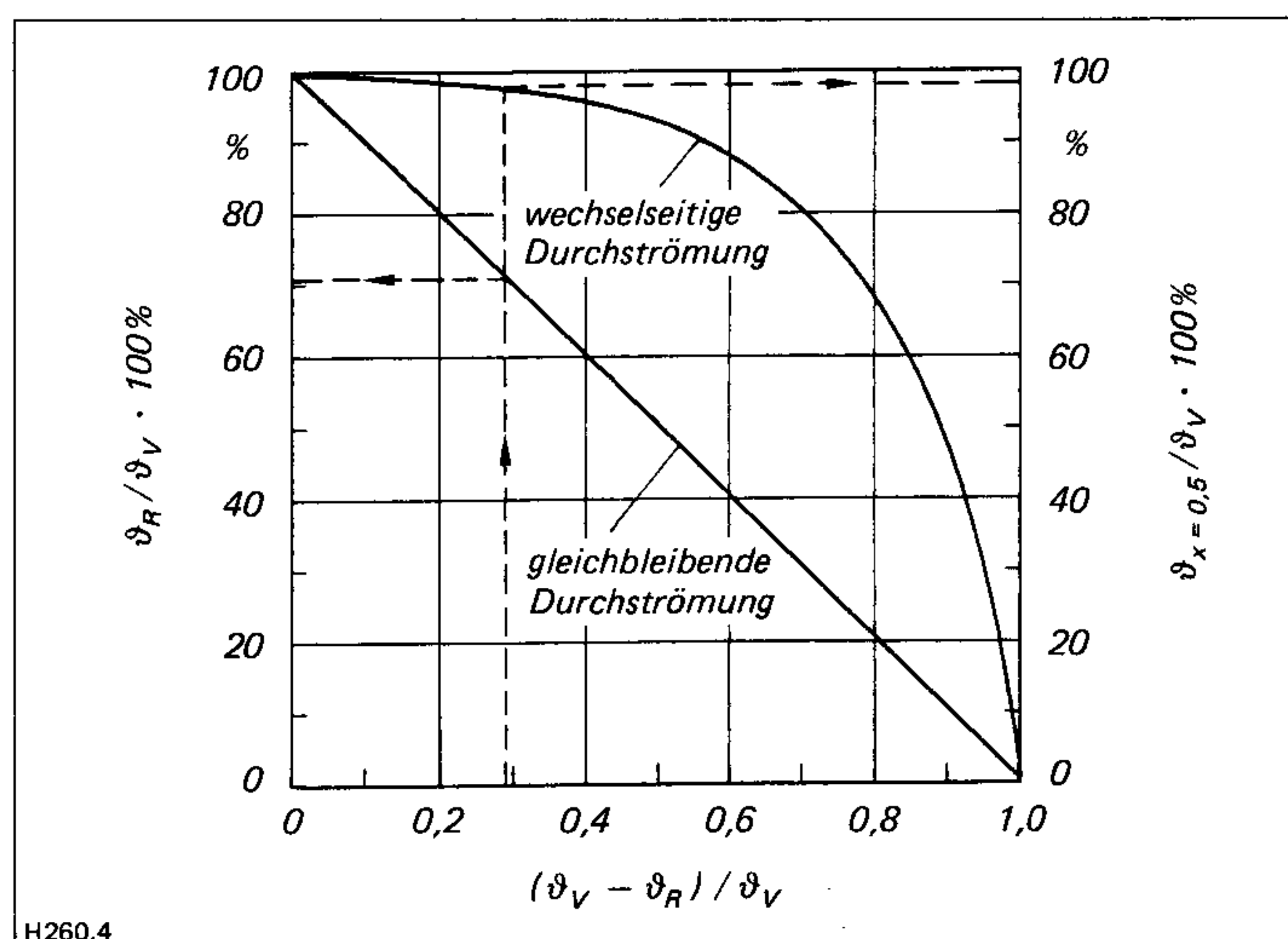


Bild 4: Prozentuale Verhältnisse der niedrigsten zur höchsten Übertemperatur in Abhängigkeit der Durchströmungsart und der relativen Temperaturspreizung

Der Wärmekapazitätsstrom im Strang folgt aus der Gesamtwärmeleistung des Stranges

$$S\dot{Q} = \sum_{l=1}^m \dot{Q}_l \quad (26)$$

zu

$$\dot{C} = \frac{S\dot{Q}}{\vartheta_V - \vartheta_R} \quad (27).$$

Die Aufteilung der Gesamtheizfläche erfolgt dann nach der örtlich geforderten Wärmeleistung und der jeweiligen Übertemperatur. Es ist zweckmäßig, von Strangeintritt beginnend schrittweise anhand der Wärmebilanzen alle Austrittsübertemperaturen zu berechnen:

Strangwärmeleistung bis zur Heizfläche k

$$S\dot{Q}_{k-1} = \sum_{l=1}^{k-1} \dot{Q}_l \quad (28),$$

Strangwärmeleistung einschließlich der Heizfläche k

$$S\dot{Q}_k = \sum_{l=1}^k \dot{Q}_l \quad (29),$$

Strangübertemperatur vor der Heizfläche k

$$\vartheta_{k-1} = \vartheta_V - \frac{S\dot{Q}_{k-1}}{\dot{C}} \quad (30),$$

Strangübertemperatur nach der Heizfläche k

$$\vartheta_k = \vartheta_V - \frac{S\dot{Q}_k}{\dot{C}} \quad (31).$$

Aus Gl. (16) läßt sich der Heizflächenanteil

$$x = \frac{\vartheta^{1-n} - \vartheta_V^{1-n}}{\vartheta_R^{1-n} - \vartheta_V^{1-n}} \quad (32)$$

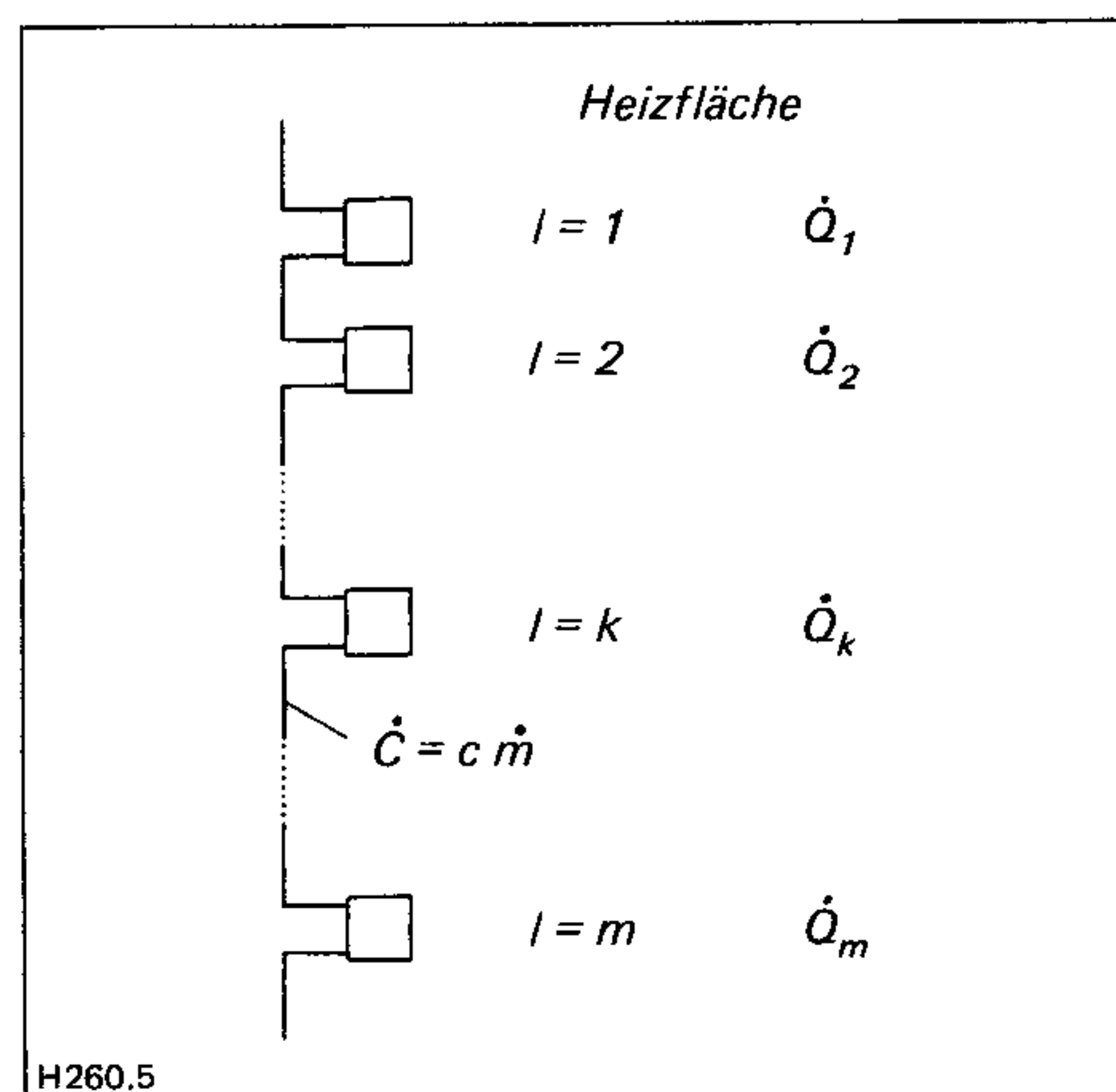


Bild 5: Einrohrstrang mit vollbeaufschlagten Heizflächen

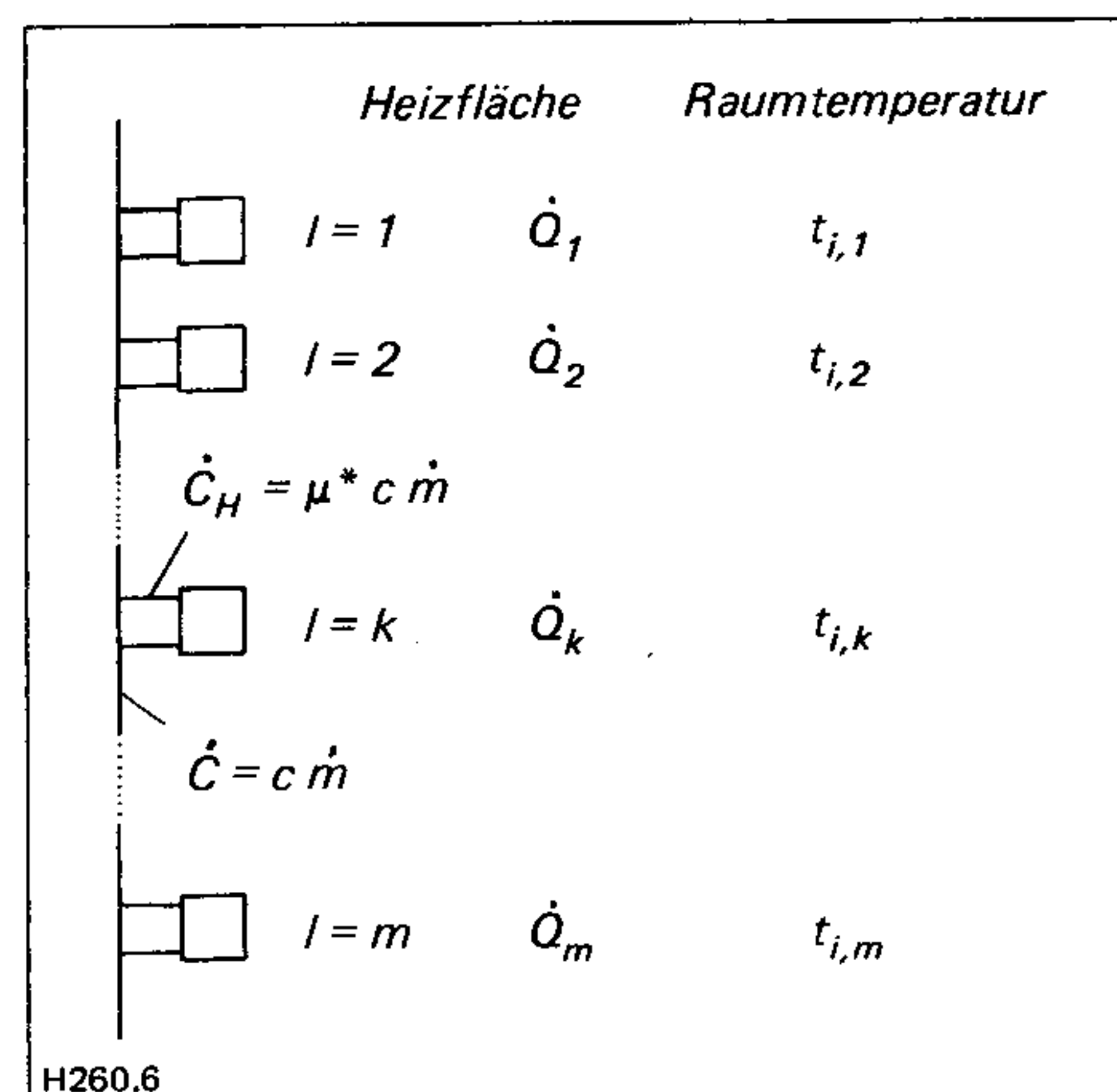


Bild 6: Einrohrstrang mit teilbeaufschlagten Heizflächen und unterschiedlichen Raumtemperaturen

eliminieren. Daraus folgt dann der Flächenanteil für den Heizkörper k zu

$$\Delta x_k = \frac{\vartheta_k^{1-n} - \vartheta_{k-1}^{1-n}}{\vartheta_R^{1-n} - \vartheta_V^{1-n}} \quad (33),$$

woraus sich schließlich die erforderliche Fläche für den Heizkörper ergibt:

$$A_k = \Delta x_k A \quad (34).$$

In den meisten Fällen ist der Bemessungsalgorithmus bedeutend komplizierter. Dies hat nachfolgende Ursachen:

- Bei Systemen mit ständiger Kurzschlußströmung – wie im Bild 6 veranschaulicht – wird die Heizfläche vom Wärmekapazitätsstrom

$$\dot{C}_H = \mu^* c \dot{m} \quad (35)$$

beaufschlagt. Der Faktor μ^* gibt den Anteil des Gesamtmassestromes an, der über den Heizkörper fließt. Er kann theoretisch im Bereich $\mu^* = 0$ bis 1 liegen. Im praktischen Fall wird er bei Kurzschlußströmung zu $\mu^* = 0,2$ bis 0,6 gewählt, bei völliger Beaufschlagung der Heizfläche gilt $\mu^* = 1$.

- Üblicherweise werden die Heizkörper auch nicht mehr in Flächeneinheiten angegeben, sondern entsprechend ihrer Normwärmeleistung $\dot{Q}_n$ bei ϑ_n ausgewählt.

Weiterhin können die Raumtemperaturen t_i unterschiedlich sein ($t_{i,1}; \dots; t_{i,k}; \dots; t_{i,m}$), so daß kein stetiger Übertemperaturverlauf existiert.

- Bei wechselseitiger Durchströmung ist die Berechnung parallel für beide Strömungsrichtungen zu führen. Dabei sind Iterationen erforderlich.

Bemessung bei gleichbleibender Durchströmung

Grundlage bildet wiederum die Strangwärmeleistung $S\dot{Q}_{k-1}$ bis zur Heizfläche k nach Gl. (28). Bezogen auf die Raumtemperatur $t_{i,k}$ und die Wärmekapazitätsströme im Strang $\dot{C}$ sowie im Heizkörper $\dot{C}_H$ ergeben sich die Übertemperaturen am Heizkörpereintritt

$$\vartheta'_k = \vartheta_V - t_{i,k} - \frac{S\dot{Q}_{k-1}}{\dot{C}} \quad (36),$$

Heizkörperaustritt

$$\vartheta''_k = \vartheta'_k - \frac{\dot{Q}_k}{\dot{C}_H} \quad (37).$$

Die mittlere Übertemperatur kann nach [1, S. 309] in sehr guter Näherung durch das logarithmische Mittel

$$\bar{\vartheta}_k = \frac{\vartheta'_k - \vartheta''_k}{\ln \frac{\vartheta'_k}{\vartheta''_k}} \quad (38)$$

gebildet werden. Genau genommen müßte analog Gl. (24)

$$\bar{\vartheta}_k = \frac{n-1}{n-2} \frac{\vartheta''^{2-n} - \vartheta'^{2-n}}{\vartheta''^{1-n} - \vartheta'^{1-n}} \quad (39)$$

gelten.

Aus Gl. (1) folgend kann somit die Normwärmeleistung der zu installierenden Heizfläche k bestimmt werden:

$$\dot{Q}_{n,k} = \frac{\dot{Q}_k}{\pi \sigma_k \beta_k f_{E,k} f_{F,k}} \quad (40)$$

Bemessung bei wechselseitiger Durchströmung

Die Berechnung ist iterativ vorzunehmen. Mit den im Bild 7 determinierten Größen wurde das im Bild 8 aufgezeigte Rechenprogramm erstellt. Es dient der Bemessung eines Heizkörpers. Gegeben sind die geforderte Wärmeleistung $\dot{Q}_k$, die Mischtemperaturen t_{VN} sowie t_{VG} , die Raumtemperatur t_i , die Wärmekapazitätsströme $\dot{C}$ (Gesamtstrom) sowie $\dot{C}_H$ (Heizkörperstrom) und die Korrekturfaktoren f und π .

Gesucht ist die Normheizkörperleistung $\dot{Q}_n$, die bei den gegebenen Bedingungen im Mittel einen Wärmestrom von $\dot{Q}_k$ an den Raum garantiert. Wird bei der Normalströmung $\dot{Q}_N$ und bei Gegenströmung $\dot{Q}_G$ abgegeben, so muß demzufolge

$$\dot{Q}_k = 0,5 (\dot{Q}_N + \dot{Q}_G) \quad (41)$$

gelten.

Die Eintrittstemperatur bei Normalströmung ist mit $t_V = t_{VN}$ vorgegeben, bei Gegenströmung wird

$$t_V = t_{VG} + (2\dot{Q}_k - \dot{Q}_N) \left(\frac{1}{\dot{C}} - \frac{1}{\dot{C}_H} \right) \quad (42)$$

errechnet und der Temperaturverlauf im Heizkörper im Gegensinn – unter Ansatz einer negativen Spreizung – betrachtet.

Der Iterationszyklus, der Gl. (41) gewährleistet und somit die Norm-Heizkörperleistung $\dot{Q}_n$ auswählt, erfolgt im Hauptprogramm. Die Berechnung der tatsächlichen Heizkörperleistung $\dot{Q}_N$ bzw. $\dot{Q}_G$ unter den spezifischen Bedingungen wird im Unterprogramm UPQ vorgenommen. Bei gegebener Eintrittstemperatur und festem Wärmekapazitätsstrom $\dot{C}_H$ ist wiederum nur eine iterative Lösung möglich. Das Programm wurde in Anlehnung an [1, S. 420] erstellt. Die weitere Subroutine SIGMA wäre nach Gl. (3) zu gestalten.

Beispiel 1

An einem Strang einer Einrohrheizung ohne Kurzschluß sind acht Heizkörper mit folgenden Leistungen angeschlossen: 1400 W, 1200 W, 1100 W, 1100 W, 1200 W, 1300 W, 2000 W, 800 W.

Die Vorlauftemperatur beträgt $t_V = 90^\circ\text{C}$, die Rücklauftemperatur wird mit $t_R = 60^\circ\text{C}$ angestrebt. Der Flächenanteil für den zweiten Heizkörper ist zu bestimmen, wenn alle Raumtemperaturen $t_i = 20^\circ\text{C}$ betragen und keine einschränkenden Einbaubedingungen vorliegen. Der Heizflächenexponent sei mit $n = 1,3$ anzunehmen. Es sind beide Lösungsvarianten zu verwenden.

Lösung: Variante a

Die Strangwärmelastungen betragen vor dem zweiten Heizkörper nach Gl. (28)

$$S\dot{Q}_1 = 1400 \text{ W}$$

einschließlich zweitem Heizkörper nach Gl. (29)

$$S\dot{Q}_2 = 1400 \text{ W} + 1200 \text{ W} = 2600 \text{ W}$$

Die Gesamtwärmelastung des Stranges berechnet sich nach Gl. (26) zu

$$S\dot{Q} = 10100 \text{ W}$$

Mit der gewünschten Temperaturspreizung von $\Delta t = 30 \text{ K}$ folgt der erforderliche Wärmekapazitätsstrom nach Gl. (27)

$$\dot{C} = \frac{10100 \text{ W}}{30 \text{ K}} = 336,67 \text{ W/K}$$

Die Strangübertemperaturen berechnen sich vor dem zweiten Heizkörper nach Gl. (30)

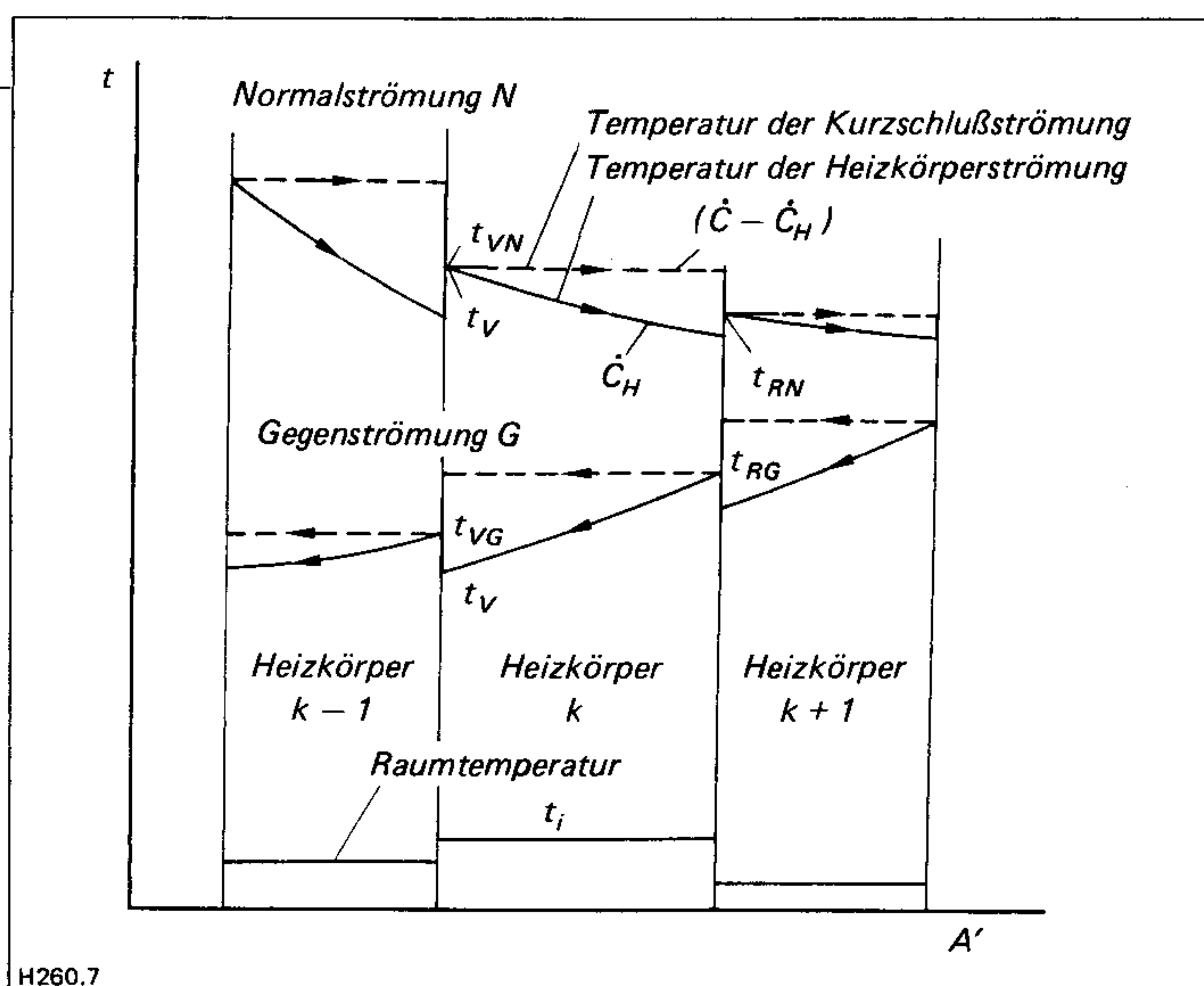


Bild 7: Charakteristische Temperaturverläufe entlang der Kurzschlußstrecken und der Heizflächen mit Festlegung der Bezeichnungen

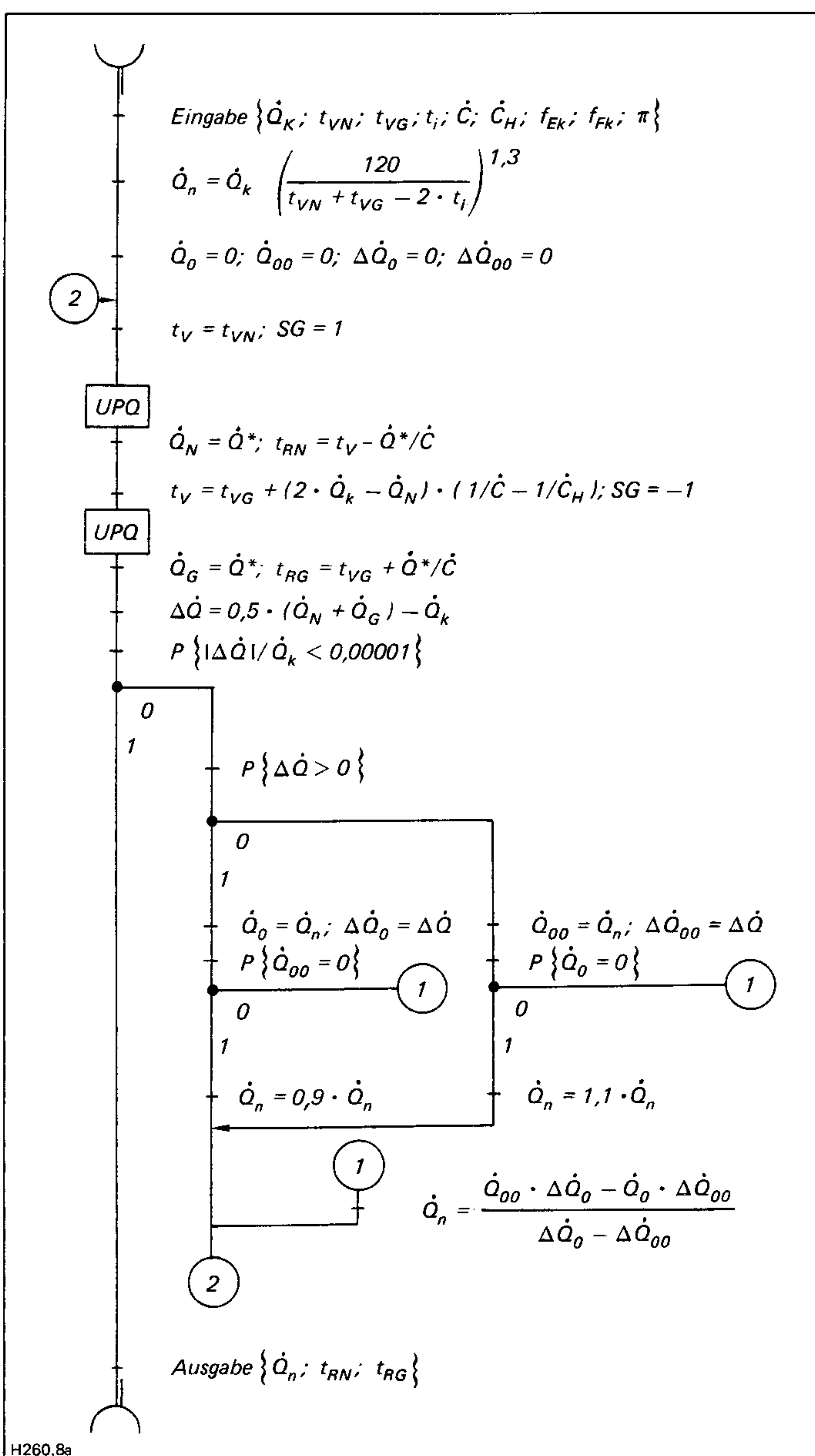


Bild 8: Programmablaufplan zur Bemessung der Normheizfläche bei vorgegebenen Wärmekapazitätsströmen, Eintrittstemperaturen und geforderter Sollwärmeleistung bei wechselseitigem Durchflußprinzip

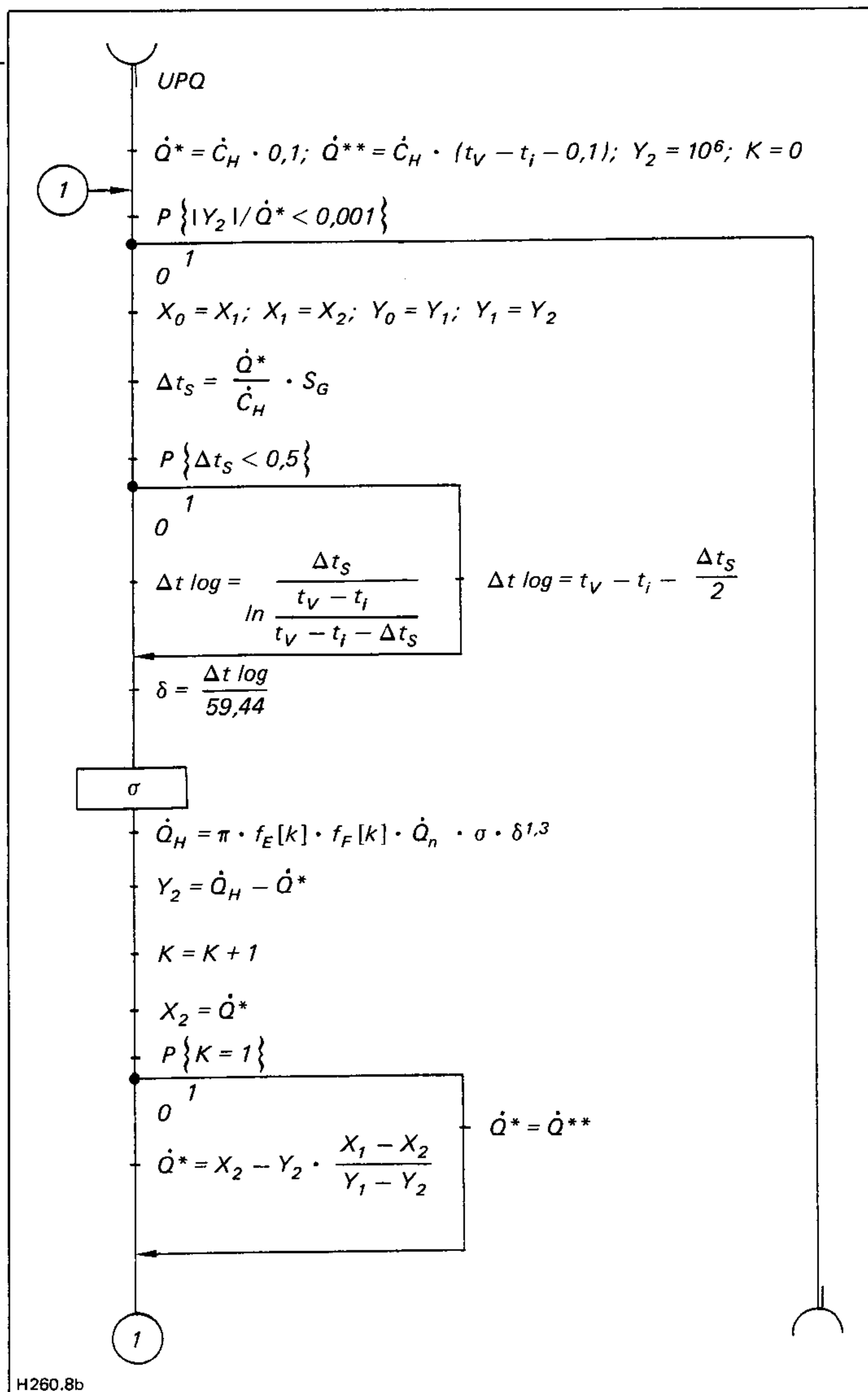


Bild 8: Programmablaufplan (Fortsetzung)

$$\vartheta_1 = 70 \text{ K} - \frac{1400}{336,67} \text{ K} = 65,84 \text{ K},$$

nach dem zweiten Heizkörper nach Gl. (31)

$$\vartheta_2 = 70 \text{ K} - \frac{2600}{336,67} \text{ K} = 62,28 \text{ K}.$$

Damit ergibt sich der Heizflächenanteil für den zweiten Heizkörper gemäß Gl. (33) zu

$$\Delta x_2 = \frac{62,28^{1-1,3} - 65,84^{1-1,3}}{40^{1-1,3} - 70^{1-1,3}} = 0,0937.$$

Lösung: Variante b

Die Übertemperaturen vor und nach dem zweiten Heizkörper, die nach den Gln. (36) und (37) zu bestimmen wären, sind direkt aus Lösung a übernehmbar: $\vartheta_2' = 65,84 \text{ K}$; $\vartheta_2'' = 62,28 \text{ K}$.

Die mittlere Übertemperatur folgt gemäß Gl. (38) zu

$$\bar{\vartheta}_2 = \frac{65,84 - 62,28}{\ln \frac{65,84}{62,28}} \text{ K} = 64,044 \text{ K}.$$

668 Nach Gl. (39) ergibt sich:

$$\bar{\vartheta}_2 = \frac{1,3 - 1}{1,3 - 2} \frac{62,28^2 - 1,3 - 65,84^2 - 1,3}{62,28^1 - 1,3 - 65,84^1 - 1,3} \text{ K} = 64,039 \text{ K}.$$

Der Unterschied ist bei den vorliegenden Übertemperaturen unbedeutend. Der Korrekturfaktor β beträgt nach Gl. (4)

$$\beta = \left(\frac{64,04}{59,44} \right)^{1,3} = 1,102.$$

Damit liefert Gl. (40) die Normwärmeleistung

$$\dot{Q}_{n,2} = \frac{1200}{1,102} \text{ K} = 1089 \text{ W}.$$

Die für den gesamten Strang zu installierende Heizflächen-Normwärmeleistung ergibt sich in folgenden Berechnungsschritten:

Gl. (24)

$$\bar{\vartheta}_A = \frac{1,3 - 1}{1,3 - 2} \frac{40^2 - 1,3 - 70^2 - 1,3}{40^1 - 1,3 - 70^1 - 1,3} \text{ K} = 53,19 \text{ K},$$

Gl. (4)

$$\beta_A = \left(\frac{53,19}{59,44} \right)^{1,3} = 0,866,$$

Gl. (40)

$$\dot{Q}_{n,A} = \frac{10\,100}{0,866} \text{ W} = 11\,663 \text{ W}.$$

Das Verhältnis der Normwärmeleistungen für den zweiten Heizkörper zum Gesamtstrang beträgt somit

$$\frac{\dot{Q}_{n,2}}{\dot{Q}_{n,A}} = \frac{1089}{11\,663} = 0,0934.$$

Dieser Wert ist mit Δx_2 der Lösung a zu vergleichen. Die Ergebnisse sind praktisch gleich.

Beispiel 2

Der im Beispiel 1 betrachtete Einrohrstrang soll mit wechselnder Durchflußrichtung betrieben werden. Die Norm-Heizflächenleistungen sind zu bestimmen, wenn jeweils 40% des Strangmassenstromes über die Heizkörper fließen. Für eine angebrachte Heizkörperverkleidung gilt der Einbaufaktor $f_E = 0,95$. Die übrigen Faktoren – einschließlich des Massestromfaktors σ – können Eins gesetzt werden.

Lösung

Das im Bild 8 dargestellte Rechenprogramm wurde so ergänzt, daß eine Abarbeitung der acht hintereinander geschalteten Heizkörper möglich ist.

Ergänzend gelten die Einzelwerte:

$$\dot{C} = 336,67 \text{ W/K}; \dot{C}_H = 134,67 \text{ W/K}.$$

Die Ergebnisse beweisen die sehr gute Übereinstimmung der Soll- und Istwerte.

Die Leistungsabgaben in den einzelnen Intervallen können aber sehr unterschiedlich sein. So gelten beispielsweise für den achten Heizkörper:

$$\dot{Q}_N = 543 \text{ W}; \dot{Q}_G = 1057 \text{ W}; \text{Mittelwert: } 800 \text{ W}.$$

Nachfolgende Ergebnisse wurden ermittelt:

k	$\dot{Q}_k$ W	$\dot{Q}_n$ W	$0,5 (\dot{Q}_N + \dot{Q}_G)$ W	t_{RN} °C	t_{RG} °C
1	1400	1773	1400	84,6	62,9
2	1200	1548	1200	80,3	65,7
3	1100	1437	1100	76,6	68,5
4	1100	1451	1100	73,1	71,6
5	1200	1595	1200	69,6	75,3
6	1300	1723	1300	66,2	79,6
7	2000	2689	2000	61,7	86,9
8	800	969	800	60,1	90,1

$\dot{Q}_k$ geforderte Wärmeleistung
 $\dot{Q}_n$ zu installierende Normwärmeleistung
 $0,5 (\dot{Q}_N + \dot{Q}_G)$ mittlere abgegebene Wärmeleistung
 t_{RN} Rücklauftemperatur im Strang bei Normalströmung
 t_{RG} Rücklauftemperatur im Strang bei Gegenströmung
 (entspricht der Vorlauftemperatur bei realem
 Durchlaufungssinn)

Schlußfolgerung

Während sich die Betrachtungen, die auf der laufenden Heizfläche A' und der Gesamtheizfläche A beruhen, besonders gut für theoretische Erörterungen eignen, sind die Umrechnungen auf die Normleistungen, die bei der Heizflächenprüfung vorliegen, praxisbezogen. Dabei ist es ausreichend, den Leistungsfaktor β , der die von Normbedingungen abweichenden Übertemperaturen berücksichtigt, mit dem logarithmischen Mittel zu bilden. Für den Leistungsfaktor σ , der die Massestromabhängigkeit des Heizkörpers erfaßt, müssen entsprechende Meßkurven vorliegen [1; 2].
Abweichungen des Heizflächenexponenten von der Anschlußart, vom Massestrom- und Übertemperaturverhältnis sind in den vorgeschlagenen Algorithmus ohne weiteres einzuarbeiten.

Literaturangaben

[1] Glück: Wärmeübertragung; Wärmeabgabe von Raumheizflächen und Rohren (Reihe Bausteine der Heizungstechnik). Berlin: Verlag für Bauwesen 1989.
[2] Schlapmann: Effektive Übertemperatur zur einheitlichen Darstellung der Wärmeleistung von Raumheizkörpern. Klima + Kälteingenieur 1977, Heft 10.