Vor- und Rücklauftemperaturen von gleitend gefahrenen Gebäudeheizungsanlagen in Funktion des Belastungsgrades und der Heizflächenart

Dr.-Ing. B. GLÜCK,
VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung – Institut –

Die Temperaturkurven sind in Abhängigkeit der verwendeten Heizflächen, des Belastungsgrades der Anlage sowie der Vorlauftemperatur und der Temperaturspreizung im Volllastfall zu ermitteln.

In dem folgenden Beitrag sind neu errechnete Temperaturkurven nach den vorstehend aufgeführten Funktionsabhängigkeiten zusammengestellt, so daß eine Vereinheitlichung gegeben ist und eine individuelle Berechnung überflüssig wird.

Des weiteren wurde eine Methode erarbeitet, die es gestattet, die Temperaturkurven ausgeführter Anlagen mit einem Minimum an Meßpunkten zu ermitteln und die Auslegung der Anlagen einzuschätzen, ohne daß die Anlage unter Volllastverhältnissen betrieben werden muß.

Heizflächenexponent

Die Berücksichtigung der Heizflächenart bezüglich der Wärmeabgabe erfolgt mit Hilfe des sogenannten Heizflächenexponenten.

Nach Messungen von *Schmidt* und *Kraussold* kann die Veränderung der Wärmedurchgangszahl k nach dem Potenzgesetz

$$\frac{k}{k_0} = \left(\frac{\vartheta}{\vartheta_0}\right)^{m} \tag{1}$$

in Abhängigkeit von der mittleren Übertemperatur ϑ des Wassers über der umgebenden Luft und dem Exponenten m dargestellt werden.

Bei den jetzt gebräuchlichen Heizflächen Plattenheizkörper, Flachheizkörper und Konvektoren, die baugrößenabhängige Wärmedurchgangszahlen aufweisen, ist es üblich, die Wärmeabgabe $\dot{Q}$ direkt anzugeben. Für die Umrechnung ergibt sich damit

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_0} = \frac{k}{k_0}\,\frac{\vartheta}{\vartheta_0} = \left(\frac{\vartheta}{\vartheta_0}\right)^{m+1} = \left(\frac{\vartheta}{\vartheta_0}\right)^{M}, \tag{2}$$

wobei $M = m + 1$ gesetzt wurde.

Für die einzelnen Heizflächen gelten:

Radiatoren	M = 1,33
Konvektortruhe „73“	M = 1,23 · · · 1,43
Flachheizkörper „70“	M = 1,21 · · · 1,31
Plattenheizkörper „Gera“	M = 1,24 · · · 1,34
nackte Rohre	M = 1,24 · · · 1,26
Strahlplatten „Neuruppin“	M = 1,15

Da die Heizflächen eines Sortiments geometrisch und bezüglich der thermischen Eigenschaften nicht ähnlich sind (wie z. B. einreihig und zweireihig, Anzahl der Rohre bei Konvektortruhen, Schachttiefe zur Schachthöhe usw.), ergeben sich die großen Unterschiede innerhalb des Sortiments.

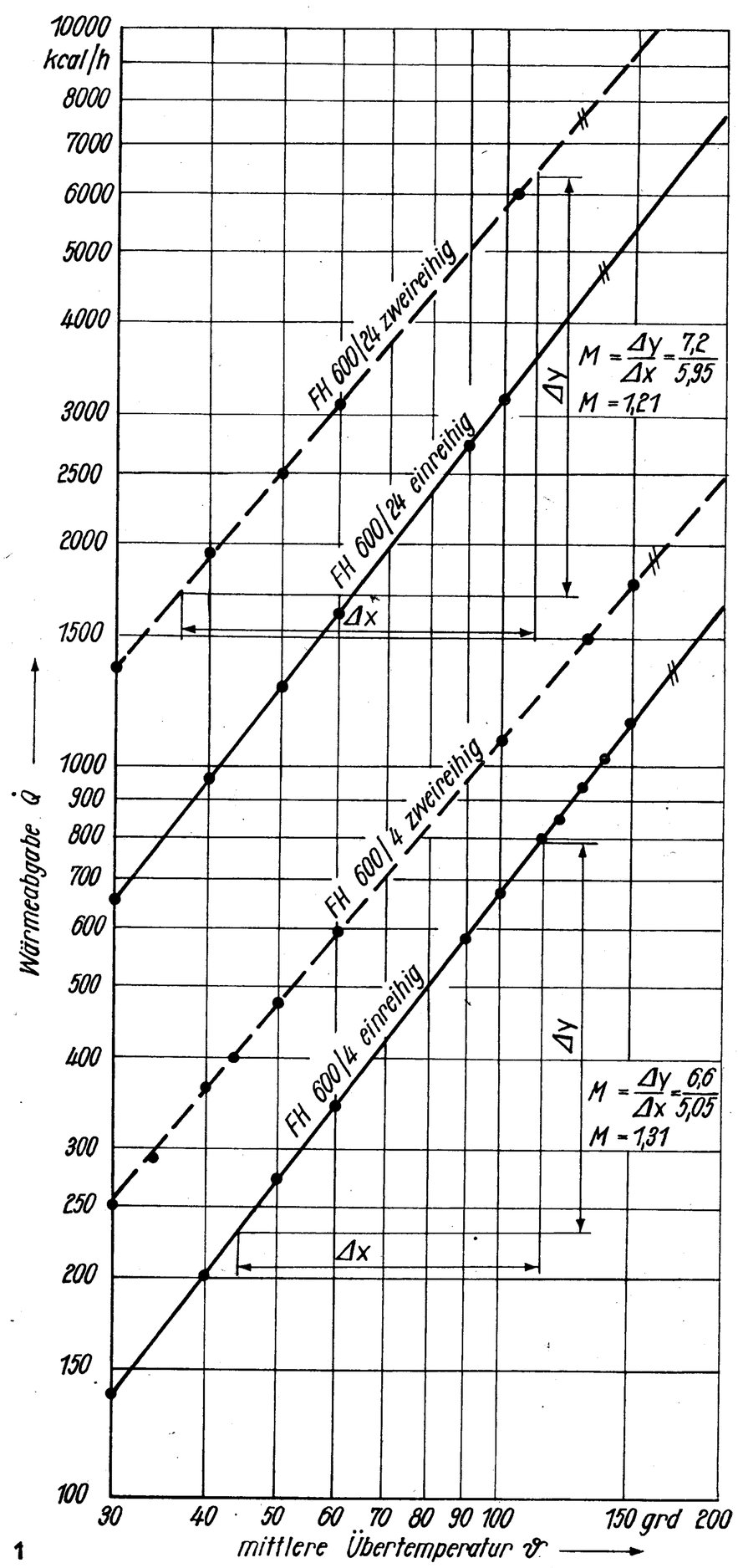
Die Praxis zeigt, daß die Ermittlung der Heizflächenexponenten M aus den Leistungstabellen oft sehr umständlich erfolgt. Beispielsweise sollten die Exponenten M nach Gl. (2) nicht allein durch Einsetzen von zwei Punkten errechnet werden, weil dabei eventuell vorhandene Streuungen der Leistungswerte unerkannt bleiben. Statt dessen ist es zweckmäßig, zahlreiche Wertepaare $\dot{Q}$, ϑ im doppeltlogarithmischen Netz aufzutragen, so daß

$$M = \frac{\lg \dot{Q} - \lg \dot{Q}_0}{\lg \vartheta - \lg \vartheta_0} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \tag{3}$$

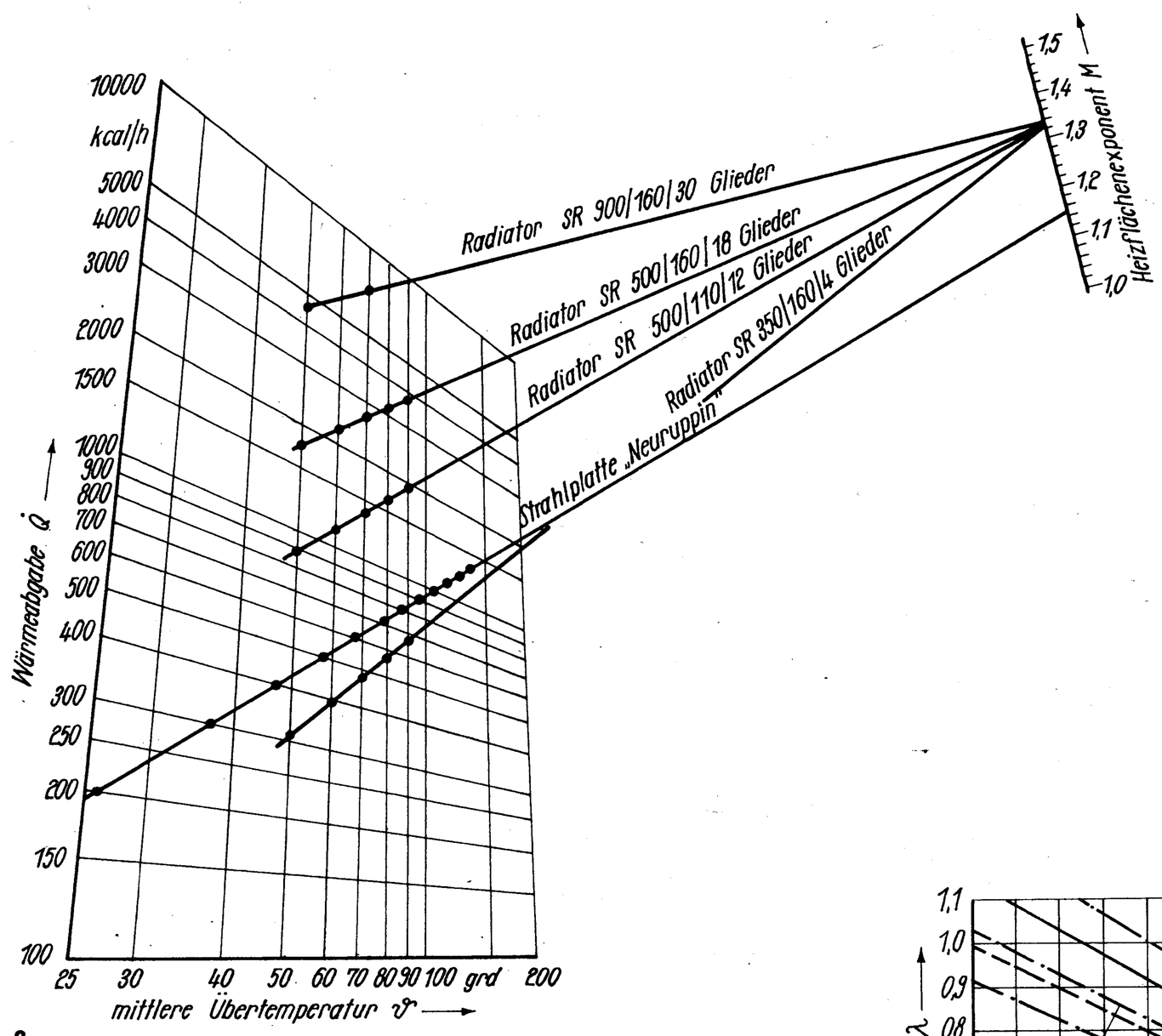
unmittelbar als Anstieg der Regressionsgeraden durch Abmessen von ΔY und ΔX mit dem Maßstab und anschließender Division zu ermitteln ist (Bild 1).

Eine weitere sehr einfache Methode ist das Eintragen der Wertepaare $\dot{Q}$, ϑ in ein projektiv verzerrtes Netz der Funktion $\dot{Q} = n \cdot \vartheta^{M}$, wobei das Ergebnis — der Heizflächenexponent M — direkt auf einer gesonderten Leiter im Schnittpunkt mit der verlängerten Regressionsgeraden abgelesen werden kann (Bild 2).

Beide Papiere sind handelsüblich.



1



2

Belastungsgrad

Der Belastungsgrad einer Anlage ergibt sich als Quotient

$$\lambda = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}^+}, \tag{4}$$

wobei $\dot{Q}$ der Wärmebedarf bei einer bestimmten Außentemperatur t_a und $\dot{Q}^+$ der Vollastwärmebedarf bedeuten.

Ein sehr diffiziles Problem ist der Zusammenhang zwischen dem Belastungsgrad der Anlage und der Außentemperatur. In [1] wurde nachgewiesen, daß zwischen λ und t_a eine lineare stochastische Verknüpfung besteht.

Wird der nach TGL 112-0319 errechnete Wärmebedarf bei der Auslegungstemperatur —15 °C bzw. —18 °C erreicht, so gelten die in Bild 3 dargestellten Geraden

$$\lambda = \frac{t_i - t_a}{t_i^+ - t_a^+}. \tag{5}$$

Praktisch ist der Anstieg dieser Geraden jedoch in starkem Maße von der Bauausführung und der Wärmebedarfsberechnung abhängig. Diese Einflüsse werden durch einen Korrekturfaktor C, der in Gl. (5) eingefügt wird, berücksichtigt (Gl. 6).

$$\lambda = C \cdot \frac{t_i - t_a}{t_i^+ - t_a^+}. \tag{6}$$

Entsprechende Geraden sind in Bild 3 gestrichelt eingezeichnet. Nach [2] tritt im Mittel ein um 13 Prozent niedrigerer Wärmebedarf auf.

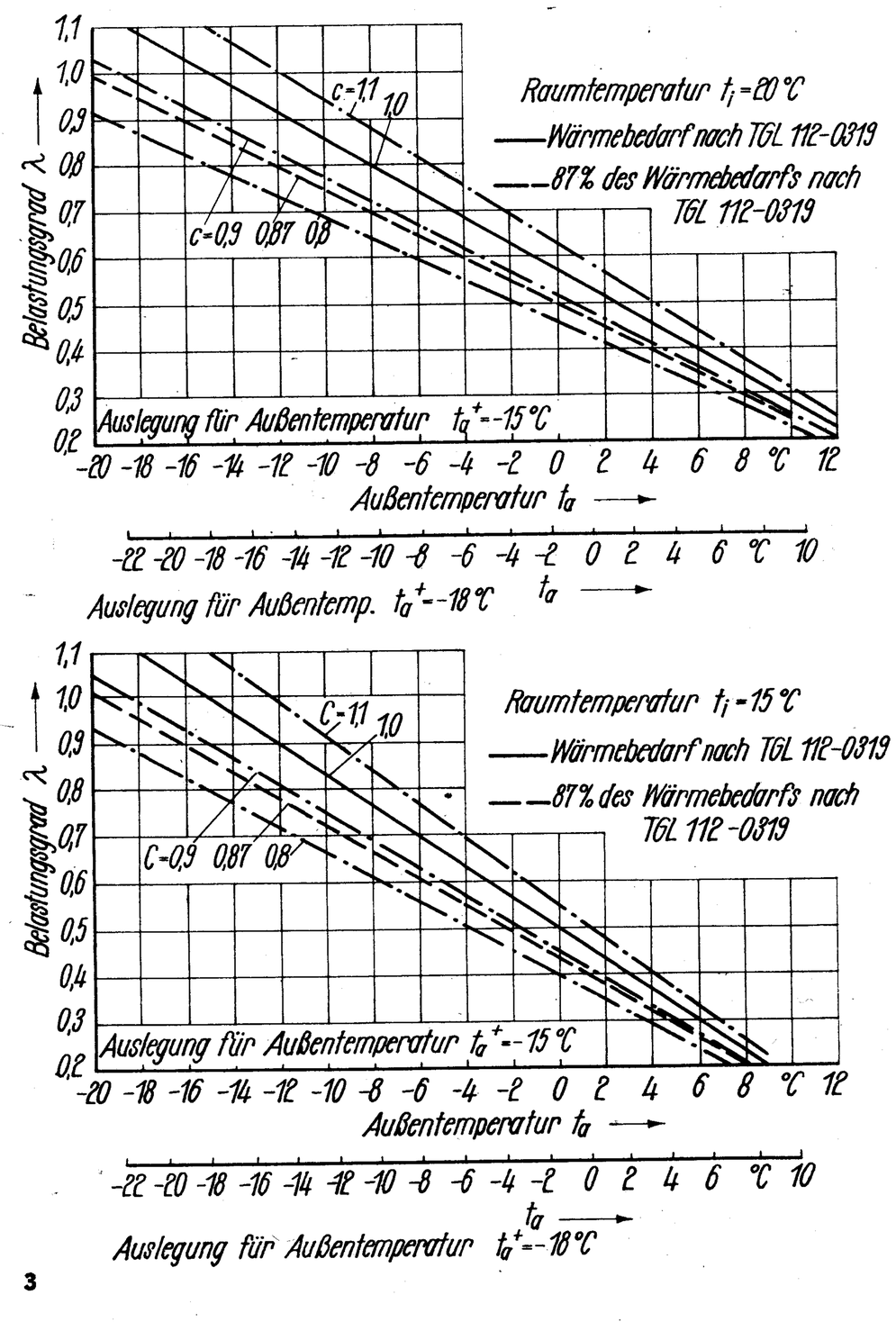
Theoretische Temperaturkurven

Ausgehend von Gl. (3) gilt für die mittlere Übertemperatur an Heizflächen

$$\vartheta = (t_v - t_i) - 0{,}525 \cdot \Delta t, \tag{7}$$

wobei t_v die Vorlauftemperatur und Δt die Temperaturspreizung darstellen.

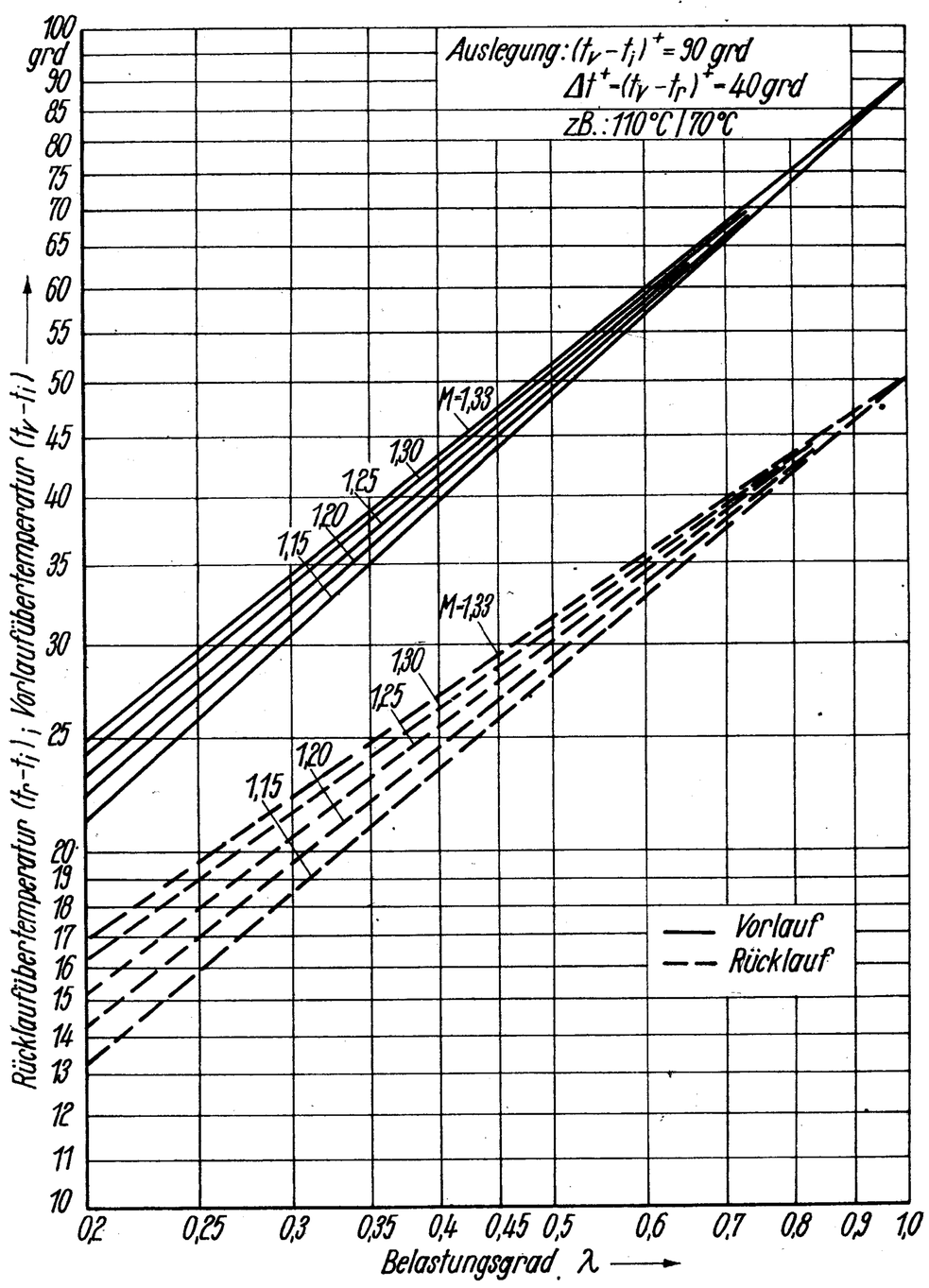
Der Belastungsgrad nach Gl. (4) kann durch Substitution der Gl. (2) unter Bezugnahme auf den Vollastzustand „+"



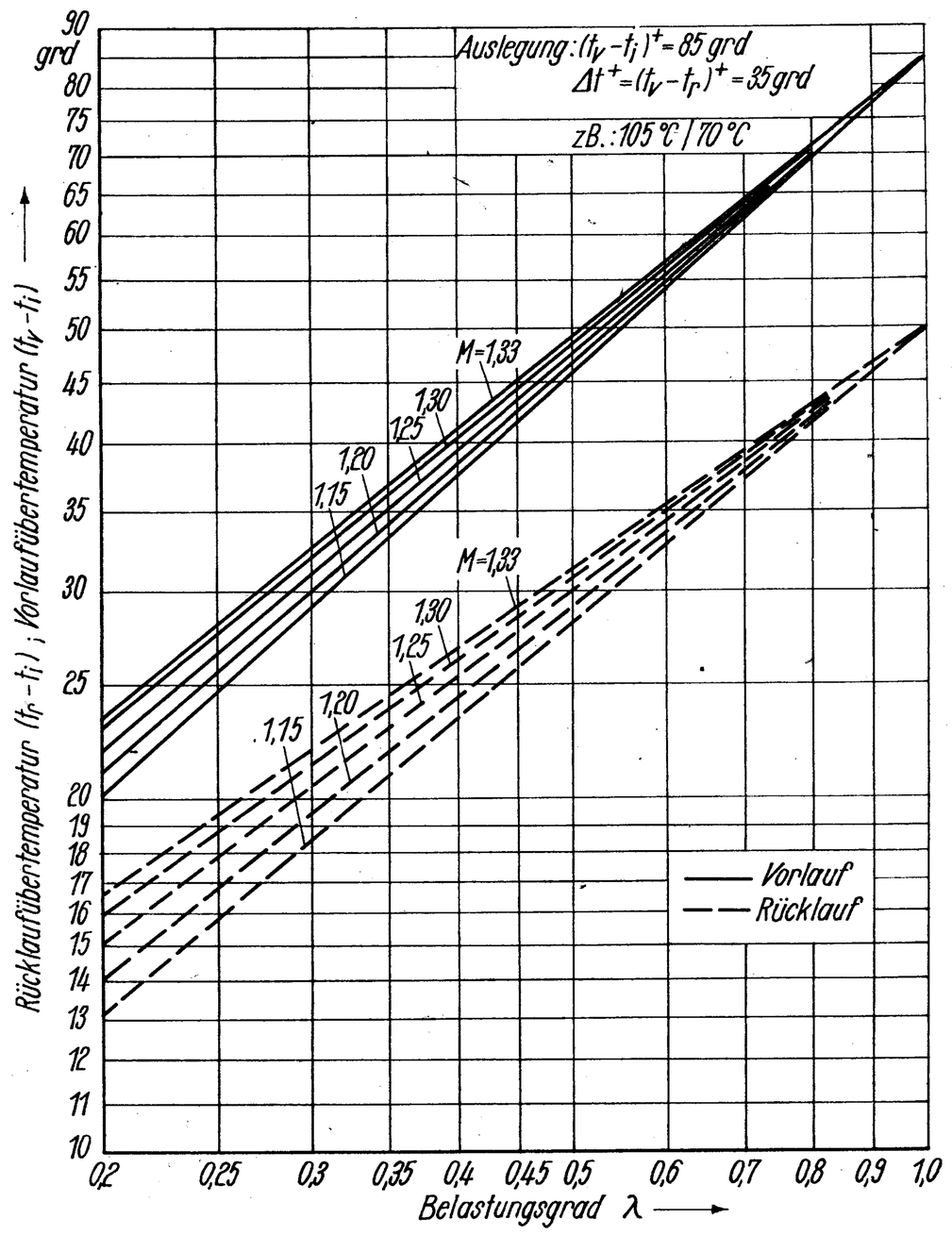
3

Tabelle 1

In der Tabelle stehen die Exponenten N		Auslegung der Anlage t_v^+/t_r^+			
		110 °C/ 70 °C	105 °C/ 70 °C	95 °C/ 70 °C	90 °C/ 70 °C
Heiz-	1,33	0,80	0,79	0,78	0,78
flächen-	1,30	0,81	0,81	0,80	0,79
exponent	1,25	0,84	0,83	0,83	0,82
M	1,20	0,87	0,86	0,86	0,85
	1,15	0,90	0,89	0,89	0,88



4



5

$$\lambda = \left(\frac{\vartheta}{\vartheta^+}\right)^M \tag{8}$$

geschrieben werden. Das weitere Einsetzen von Gl. (7) liefert

$$\lambda = \left(\frac{(t_v - t_i^+) - 0{,}525 \cdot \Delta t}{(t_v^+ - t_i^+) - 0{,}525 \cdot \Delta t^+}\right)^M . \tag{9}$$

Des weiteren gilt auf Grund des konstanten Massenstromes

$$\lambda = \frac{\Delta t}{\Delta t^+} , \tag{10}$$

womit sich die Gl. (9) als

$$t_v - t_i^+ = [(t_v^+ - t_i^+) - 0{,}525 \cdot \Delta t^+] \cdot \lambda^{1/M} + 0{,}525 \cdot \Delta t^+ \cdot \lambda \tag{11}$$

ergibt. Die Rücklauftemperaturen errechnen sich dann zu

$$t_r - t_i^+ = (t_v - t_i^+) - \Delta t^+ \cdot \lambda . \tag{12}$$

Die Auswertung erfolgte mit Hilfe eines Rechenprogrammes für eine Vielzahl von Parameter-Kombinationen. Für die typischsten Vorlaufübertemperaturen, Temperaturspreizungen und Heizflächenexponenten sind die analytischen Zusammenhänge in den Bildern 4, 5, 6 und 7 wiedergegeben. Wie aus den Diagrammen ersichtlich ist, können die Vorlaufübertemperaturen als Potenzfunktionen des Belastungsgrades

$$t_v - t_i^+ = (t_v^+ - t_i^+) \cdot \lambda^N \tag{13}$$

dargestellt werden. Die Exponenten N sind abhängig vom Heizflächenexponenten und von der Auslegung der Anlage in Tabelle 1 zusammengestellt.

Es sei noch kurz auf die Häufigkeit des Auftretens der jeweiligen Vorlauftemperatur hingewiesen, da diese Frage bei der Diskussion um Fahrweisen und erforderliche Regelgenauigkeiten von wärmetechnischen Anlagen oft zu Fehleinschätzungen führt. Die Abszisse λ eines Diagramms $t_v = t_v(\lambda)$ bzw. $t_r = t_r(\lambda)$ wurde entsprechend der Häufigkeit des Auftretens geteilt. Die Zuordnung der Vor- bzw. Rücklauftemperaturen ergibt damit sofort die Temperaturkurven in geordneter Häufigkeitsverteilung. Für die Parameter $M = 1{,}33$; $t_v^+ - t_i^+ = 90$ grd und $\Delta t^+ = 40$ grd wurden anhand der Angaben im Bild 4 die Werte im Bild 8 aufgezeichnet.

Praktische Temperaturkurven

Wie vorstehende Ausführungen zeigen, lassen sich die praktisch erforderlichen Temperaturkurven kaum vorausberechnen, da durch das Zusammenschalten von Heizflächen verschiedener Exponenten, die mitunter innerhalb eines Sortimentes bereits zu erheblichen Abweichungen führen, und durch unterschiedliche Dimensionierung sowie Bauausführung sowohl der mittlere Heizflächenexponent M als auch der mittlere Korrekturfaktor C unbekannt sind. Es ist jedoch nicht notwendig, die gesamte Temperaturkurve aufzunehmen, denn die beiden Unbekannten M und C lassen sich relativ einfach aus den Ergebnissen des Probebetriebes ermitteln. Theoretisch genügen zwei Betriebspunkte, bei Kenntnis des Heizflächenexponenten genügt sogar ein Punkt. Jedoch ist es vorteilhaft, wenn über mehrere Betriebspunkte eine Regressionsgerade aufgespannt wird.

Ausgehend von Gl. (13) kann durch Substitution von Gl. (6)

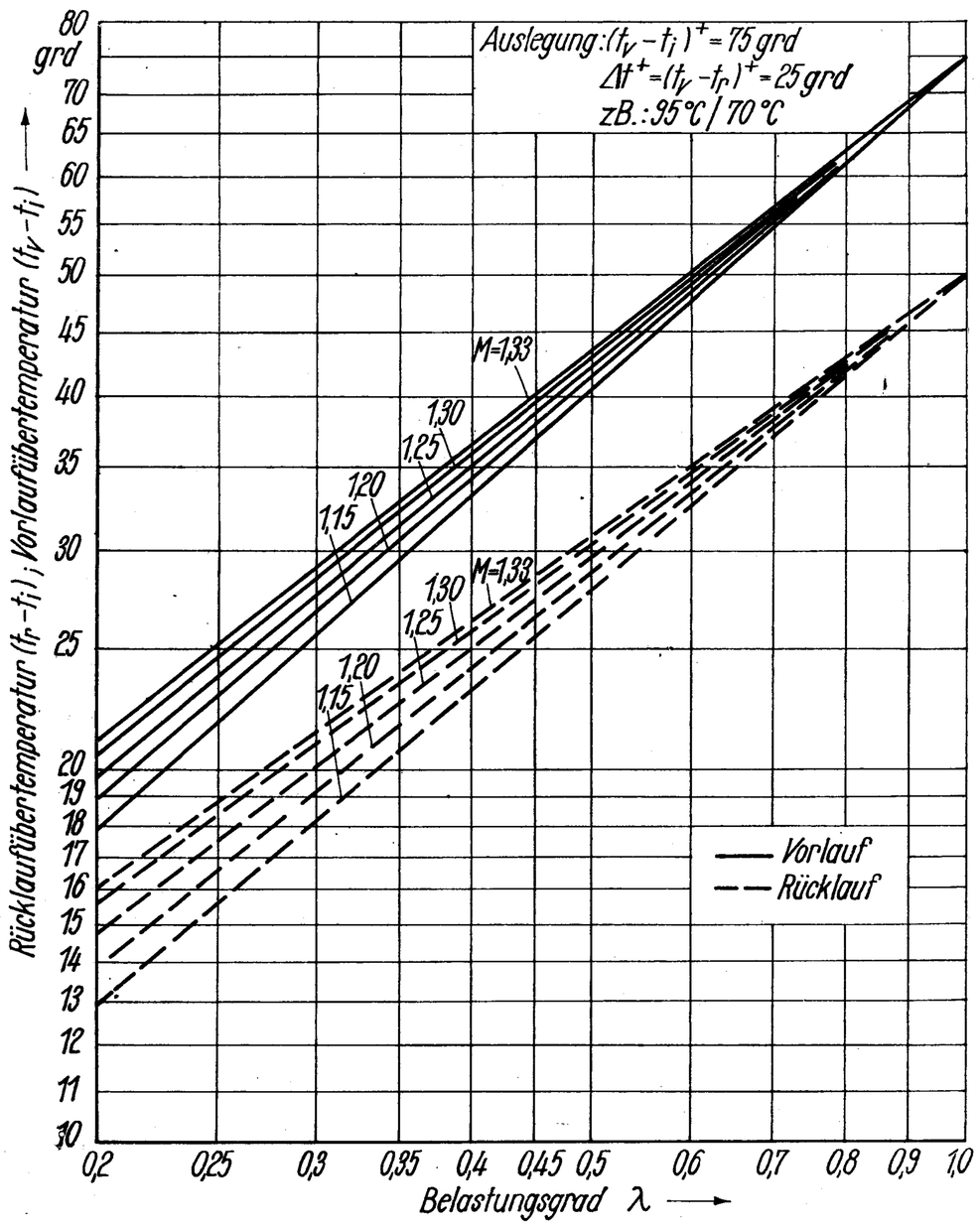
$$\frac{t_v - t_i}{t_v^+ - t_i^+} = C^N \cdot \left(\frac{t_i - t_a}{t_i^+ - t_a^+}\right)^N$$

bzw. umgeformt

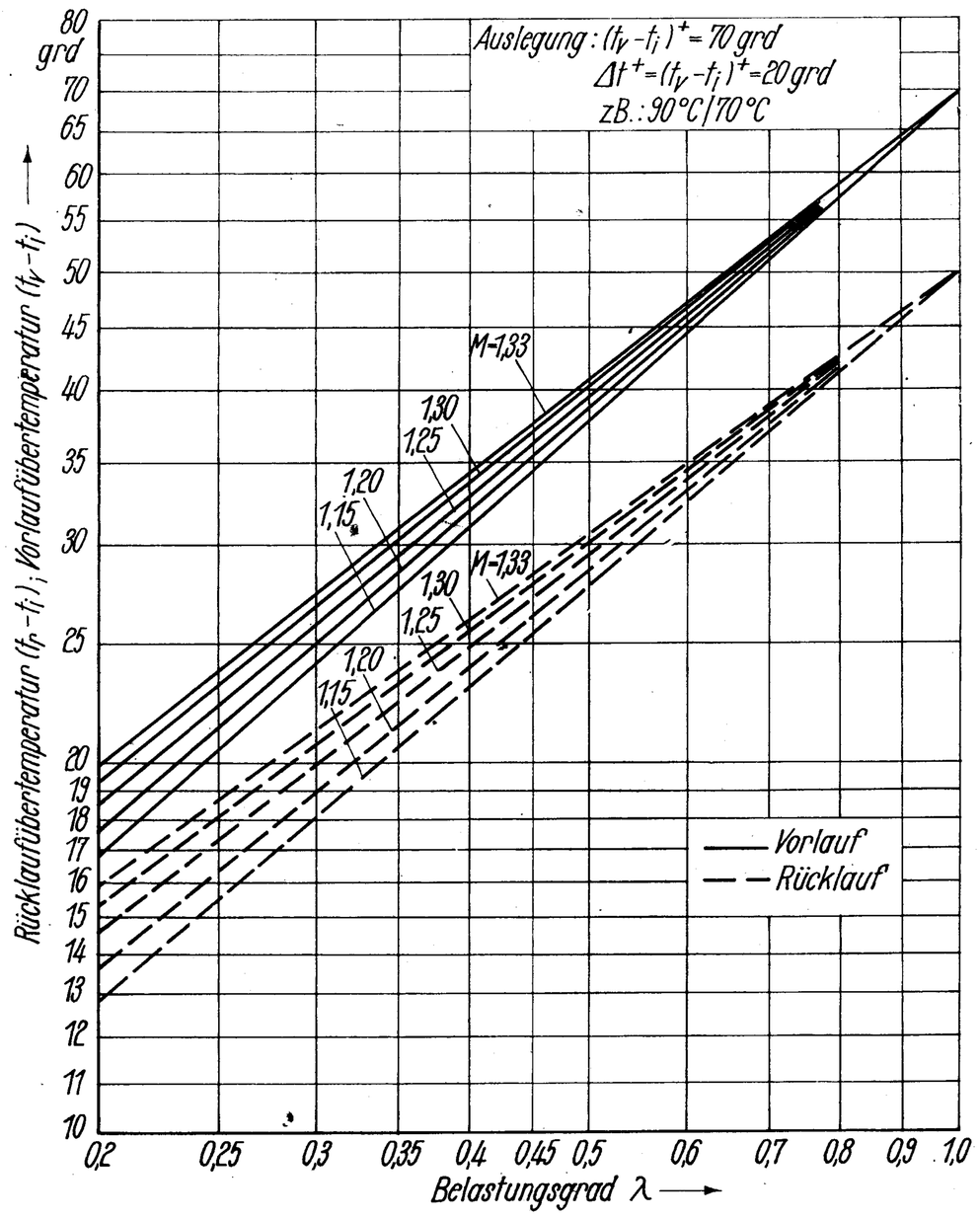
$$\frac{t_i^+ - t_a^+}{t_i - t_a} = C \cdot \left(\frac{t_v^+ - t_i^+}{t_v - t_i}\right)^{1/N} \tag{14}$$

geschrieben werden.

Im projektiv verzerrten doppeltlogarithmischen Netz können durch Eintragen von Wertepaaren



6



7

$$\left(\frac{t_i^+ - t_a^+}{t_i - t_a};\ \frac{t_v^+ - t_i^+}{t_v - t_i}\right)$$

die praktische Fahrkurve eingezeichnet, der zugehörige Exponent N sowie der Korrekturfaktor C direkt abgelesen werden (Bild 9).

Ist der Faktor $C < 1$, dann ist die Heizungsanlage überdimensioniert, ist $C > 1$, ist sie unterdimensioniert. Das bedeutet, daß zum ordnungsgemäßen Beheizen der Räume bei Vollast ($t_a = -15$ °C oder $t_a = -18$ °C) die Vorlauftemperatur im ersten Fall unter der Auslegungstemperatur und im zweiten Fall über der Auslegungstemperatur (z. B. $t_v > 110$ °C) liegen muß. Damit ist eine Möglichkeit gegeben, die Anlage bereits bei Teillastbetrieb beurteilen zu können, was vor allem für die Abnahme von Heizungsanlagen wichtig ist.

Es ist dem Bedienungspersonal nicht zumutbar, die jeweils erforderlichen Betriebswerte dem Diagramm (Bild 9) zu entnehmen. Deshalb sollte mit den gewonnenen Ergebnissen N und C sowie unter Zuhilfenahme der Tabelle 1 und der Bilder 3 bis 7 eine praktische Fahrkurve ermittelt werden (siehe Beispiel). Ergänzend sei darauf hingewiesen, welche maximalen Abweichungen der Vorlaufübertemperatursollwerte $\Delta\vartheta_v$ beim Zusammenschalten von Heizflächen mit unterschiedlichen Exponenten M auftreten. Aufbauend auf Gl. (13) gilt für

$$\Delta\vartheta_v = \vartheta_v^+ \cdot \lambda^{N1} - \vartheta_v^+ \cdot \lambda^{N2}\,. \qquad (15)$$

Die erste Ableitung nach λ wird gleich Null gesetzt

$$\frac{\partial \Delta\vartheta_v}{\partial \lambda} = \vartheta_v^+ \left[N_1 \cdot \lambda^{N1-1} - N_2 \cdot \lambda^{N2-1}\right] = 0\,,$$

woraus nach einigen Umformungen

$$\lambda = e^{\frac{ln\,(N_1/N_2)}{N_2 - N_1}} \qquad (16)$$

folgt. Werden z. B. bei einer Anlage, die für 110 °C/70 °C ausgelegt wurde, Heizflächen mit $M_1 = 1{,}25$ und $M_2 = 1{,}33$ zusammengeschaltet, so ergeben sich nach Tabelle 1:

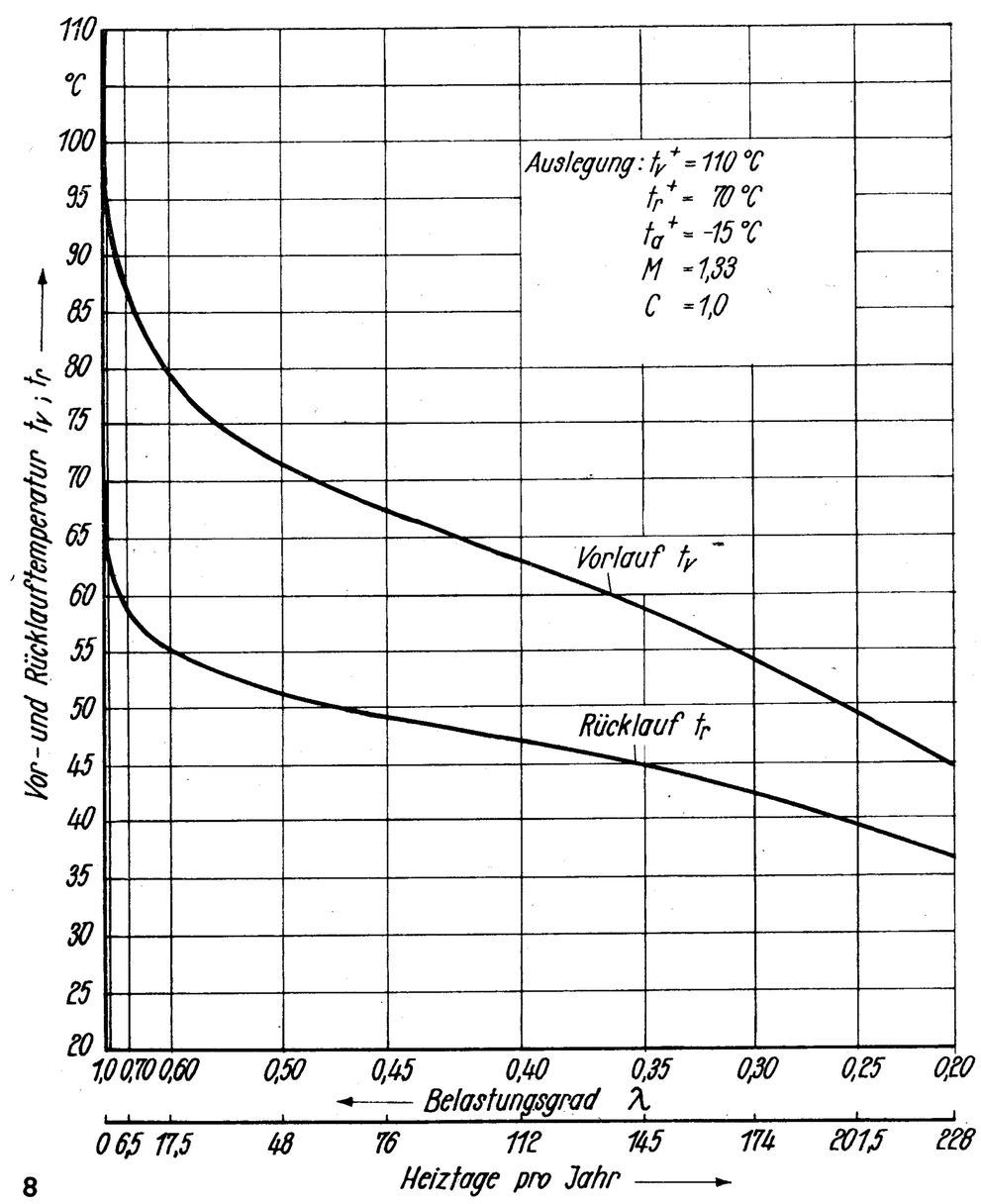
$N_1 = 0{,}84$ und $N_2 = 0{,}80$.

Nach Gl. (16) errechnet sich dann $\lambda = 0{,}295$ und in Gl. (15) eingesetzt die maximale Vorlaufübertemperaturdifferenz zu

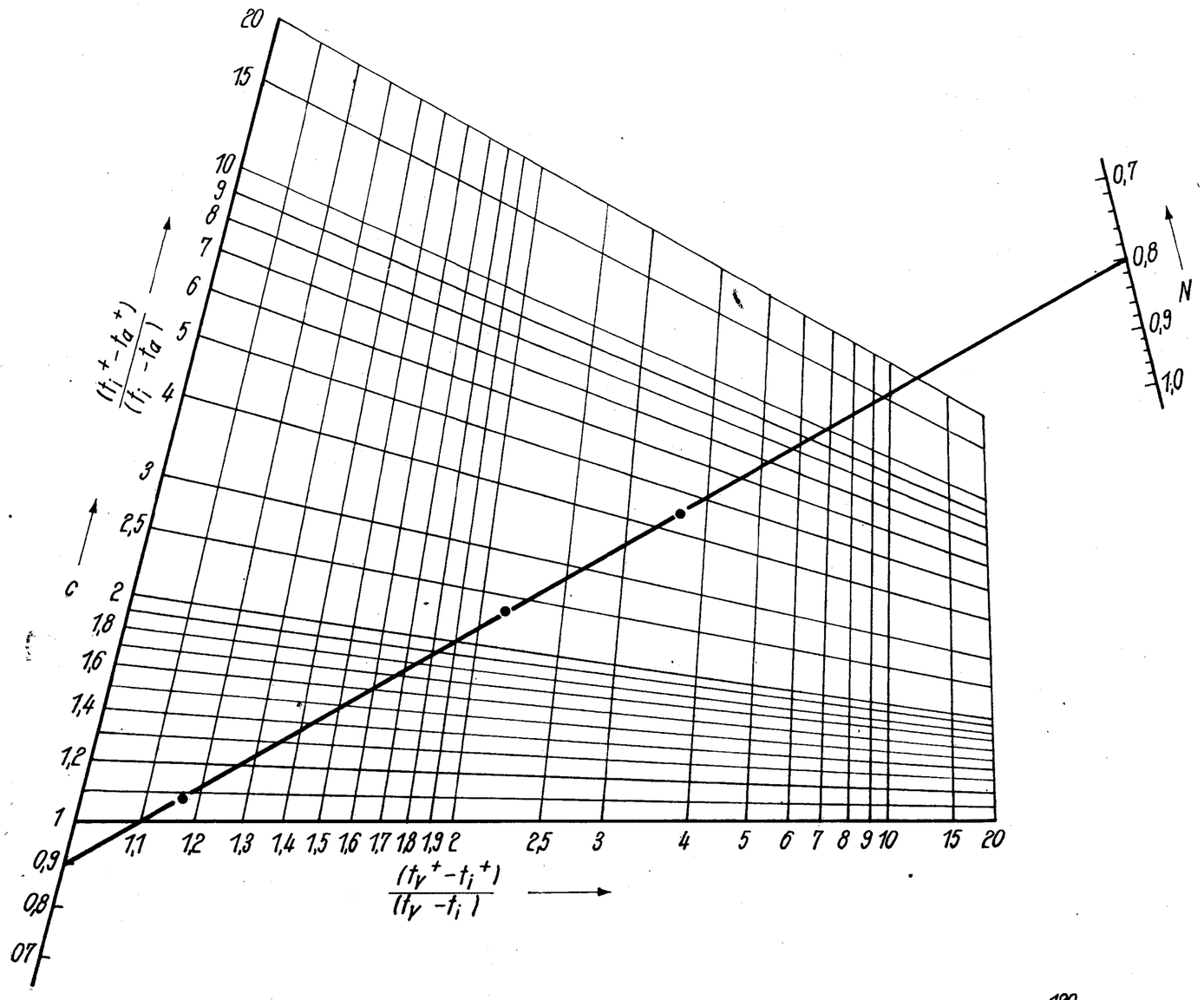
$\Delta\vartheta_v = -1{,}6$ grd.

Beispiel

Eine Radiatorheizung wurde für 110 °C/70 °C, $t_i^+ = 20$ °C und $t_a^+ = -15$ °C bemessen.



8



9

Zu Beginn des Heizbetriebes ergaben sich folgende Temperaturen (stationärer Zustand):

1. $t_a = 12\ °C$, $t_i = 20\ °C$, $t_v = 45\ °C$
2. $t_a = 5\ °C$, $t_i = 20\ °C$, $t_v = 62\ °C$
3. $t_a = -10\ °C$, $t_i = 22\ °C$, $t_v = 99\ °C$

Aus diesen Werten können die Wertepaare

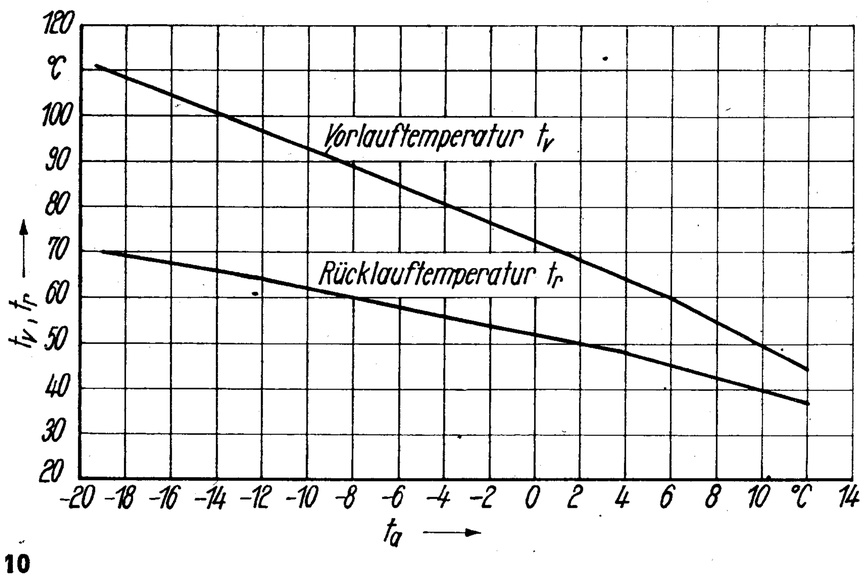
$$\frac{t_i^+ - t_a^+}{t_i - t_a} \qquad \frac{t_v^+ - t_i^+}{t_v - t_i}$$

1. $\frac{20 + 15}{20 - 12} = 4{,}37 \qquad \frac{110 - 20}{45 - 20} = 3{,}6$

2. $\frac{20 + 15}{20 - 5} = 2{,}33 \qquad \frac{110 - 20}{62 - 20} = 2{,}14$

3. $\frac{20 + 15}{22 + 10} = 1{,}094 \qquad \frac{110 - 20}{99 - 22} = 1{,}17$

errechnet und in Bild 9 eingetragen werden. Die Regressionsgerade liefert an den entsprechenden Schnittstellen der Leitern N = 0,8 und $C = 0{,}9$. Damit ist aus der Tabelle 1 für N = 0,8 der Wert M = 1,33 ablesbar, was in diesem speziellen Beispiel — Radiatorheizflächen — auch hätte vorausgesetzt werden können. Mit Kenntnis dieser Werte wird zu jeder Außentemperatur t_a für den Parameter C der zugehörige Belastungsgrad λ aus Bild 3 abgelesen. Mit dem Wert λ können dann dem Bild 4 für den Parameter M = 1,33 die Vor- und Rücklauftemperaturen entnommen und die Zusammenhänge $t_v = t_v\,(t_a)$ und $t_r = t_r\,(t_a)$ gemäß Bild 10 aufgetragen werden. Dieses Diagramm stellt die praktische Fahrkurve sowohl für den manuellen als auch automatischen Betrieb dar.



10

Literatur

[1] *Glück, B.:* Wahl der Auslegungsparameter von Wasserheizungsanlagen zur Erzielung optimaler Regelungsverhältnisse (I). *Stadt- und Gebäudetechnik,* Heft 1/1971

[2] *Raiss, W./Mönner, W.:* Der Heizwärmebedarf von Wohnhochhäusern. *Gesundheitsingenieur,* Heft 8/1965

[3] *Glück, B.:* Optimale Auslegung von Wasserheizungsanlagen mit Umwälzpumpe. *TGA-Information,* Heft 2/1970