Warmwasserbedarf von Wohnungen – automatengestützte Auslegung einer Warmwasserbereitungsstation nach dem kombinierten Durchfluß-Speicherprinzip[1])

Dr. sc. techn. B. GLÜCK
VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung — Institut —

Warmwasserbedarf

Der Warmwasserbedarf von Wohnungen unterliegt starken Schwankungen. Die absoluten Spitzenabnahmen treten an Wochenenden während des Badebetriebes auf. Die im vergangenen Jahrzehnt publizierten Messungen lassen einen ständig zunehmenden Verbrauch erkennen. Da die Tendenz weiter steigend verläuft, sollten die Warmwasserbereitungsanlagen auf keinen Fall zu knapp bemessen werden.

Im einzelnen seien folgende Literaturangaben, die zum Teil auf völlig unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen aufbauen, ausgewertet.

In [1] ist der maximale stündliche Verbrauch mit

$$\dot{V}_{h,max} = \varphi \cdot n \cdot \dot{V}_d \quad \text{in l/h} \tag{1}$$

angegeben, wobei φ der Gleichzeitigkeitsfaktor des täglichen Bedarfs in einer Stunde, n die Anzahl der Verbraucher und $\dot{V}_d$ der tägliche Warmwasserbedarf in l/E · d darstellen.

Der tägliche Bedarf schwankt bei 60 °C Verbrauchstemperatur zwischen 35 und 50 l/E · d. In Tabelle 1 wird die Rechnung für verschiedene Verbraucherzahlen durchgeführt.

[2] gibt den Brauchwasserverbrauch diagrammatisch in Funktion der installierten Badewannen n für 45 °C an. Um Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, erfolgt in Tabelle 2 eine Umrechnung auf 60 °C, wobei die Temperatur des Kaltwassers mit 10 °C angenommen wird.

In [3] wird der maximale Stundenverbrauch (ungarische Verbrauchergewohnheiten) nach

$$\dot{V}_{h,max} = n \cdot \dot{V}_d \cdot \frac{Z}{24} \quad \text{in l/h} \tag{2}$$

errechnet, wobei n die Anzahl der Verbraucher, $\dot{V}_d$ der tägliche Warmwasserverbrauch in l/E · d und Z ein Faktor der höchsten Stundenentnahme über dem 24 h-Mittel darstellen.

Der tägliche Verbrauchswert $\dot{V}_d$ wird mit 75 bis 100 l/E · d, bei 60 °C Verbrauchstemperatur bedeutend höher als in [1] angenommen. Der Faktor Z bezieht sich auf die Anzahl der angeschlossenen Wohnungen. Für die nachfolgende Auswertung (Tabelle 3) wird als Mittel ein Dreipersonenhaushalt angenommen.

In den USA wird nach [4] mit einem von der Verbraucherzahl unabhängigen Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,3 gerechnet, was bei einer Vielzahl von Abnehmern zu große und bei einer geringen Zahl von Abnehmern zu kleine Warmwasserbereitungsanlagen ergibt. Die Berechnung geht vom Verbrauch der installierten Einrichtungsgegenstände aus. Ein in [4] aufgeführtes Beispiel für 60 Wohnungseinheiten ergab

$$\dot{V}_{h,max} = 2860 \text{ l/h}.$$

Die Brauchwassertemperatur beträgt ebenfalls 60 °C.

Sehr detaillierte Untersuchungen, die auch die zeitliche Bedarfsabhängigkeit einschließen, sind in [5] wiedergegeben. Dabei wird von einer Einheitswohnung mit drei bis vier Bewohnern und einer sanitären Ausstattung mit einer Spüle,

[1]) Die automatischen Berechnungen erfolgten mit der freundlichen Unterstützung des Organisations- und Rechenzentrums Technische Gebäudeausrüstung.

Tabelle 1

n	30	150	300	3000
φ	0,50	0,30	0,27	0,22
$\dot{V}_{h,max}$ in l/h bei $\dot{V}_d = 35$ l/E·d	525	1570	2840	23100
$\dot{V}_{h,max}$ in l/h bei $\dot{V}_d = 50$ l/E·d	750	2250	4050	33000

Tabelle 2

n	5	10	60	200	1000
$\dot{V}_{h,max}$ in l/h bei 45 °C	600	1000	4000	10000	36000
$\dot{V}_{h,max}$ in l/h bei 60 °C	420	700	2800	7000	25200

Tabelle 3

n	150	300	3000
Z	4,5	3,5	2,3
$\dot{V}_{h,max}$ in l/h bei 75 l/E·d	2100	3280	21600
$\dot{V}_{h,max}$ in l/h bei 100 l/E·d	2800	4370	28800

Tabelle 4

n	10	20	50	100	200
$\dot{Q}$ in kcal bei $\Delta\tau = 60$ min	34000	55000	115000	200000	360000
$\dot{V}_{h,max}$ in l/h	680	1100	2300	4000	7200
$\dot{Q}$ in kcal bei $\Delta\tau = 10$ min	13000	19000	32000	53000	85000
$\dot{V}_{max}$ in l/h	1560	2280	3840	6350	10200

einem Waschbecken und einer Badewanne ausgegangen. In Abhängigkeit des Bedarfszeitraumes $\Delta\tau$ und der Anzahl dieser Einheitswohnungen n ist der benötigte Wärmebedarf diagrammatisch angegeben. In Tabelle 4 ist ein Auszug enthalten und auf die Warmwassermenge $\dot{V}_{h,max}$ bzw. $\dot{V}_{max}$ (10-Minuten-Spitze) bei 60 °C Zapftemperatur umgerechnet.

Um die Literaturangaben vergleichen zu können, sind die Bezugswerte zu vereinheitlichen. Als Bezugsbasis wird die Anzahl der zu versorgenden Wohnungen mit jeweils drei Personen je Wohnung angenommen. Die Entnahmetemperatur beträgt in allen Fällen 60 °C. Die Ergebnisse sind im Bild 1 zusammengestellt. Sie zeigen trotz der heterogenen Berechnungsquellen eine bemerkenswert gute Übereinstimmung. Es wurden vereinheitlichte Verbrauchskurven $\dot{V}_{h,max}$ für den höchsten Stundenverbrauch und $\dot{V}_{max}$ für den höchsten Zehn-Minuten-Verbrauch (ebenfalls angegeben in m³/h) ermittelt. Analytisch lassen sich diese Kurven durch

$$\dot{V}_{h,max} = 0{,}117 \cdot n^{0{,}78} \quad \text{in m}^3/\text{h} \tag{3}$$

$$\dot{V}_{max} = 0{,}34 \cdot n^{0{,}64} \quad \text{in m}^3/\text{h} \tag{4}$$

beschreiben, wobei n die Anzahl der Wohnungen darstellt. In einigen Fällen ist es sinnvoll, mit dem Wärmebedarf zu rechnen. Die Gleichungen lauten dann

$$\dot{Q}_{h,max} = 5850 \cdot n^{0{,}78} \quad \text{in kcal/h} \tag{5}$$

$$\dot{Q}_{max} = 17000 \cdot n^{0{,}64} \quad \text{in kcal/h}. \tag{6}$$

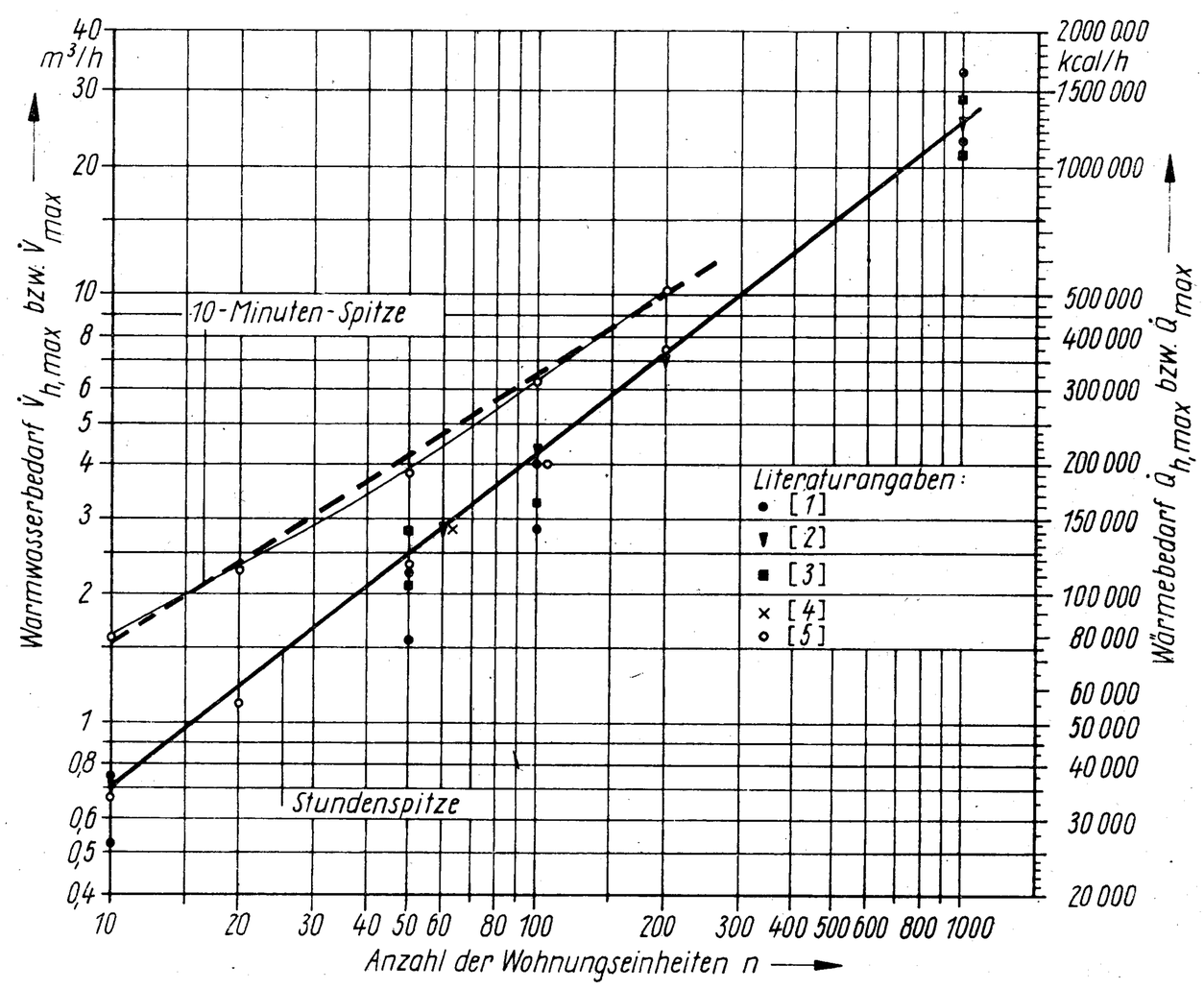
Solange es sich um Speicheranlagen für Warmwasserbereitung handelt, sind die Aussagen der Gl. (3) und (5) mit dem maximal stündlichen Bedarf ausreichend.

Bei Anlagen im kombinierten Durchfluß-Speichersystem können die Gl. (4) und (6) als Berechnungsgrundlagen dienen.

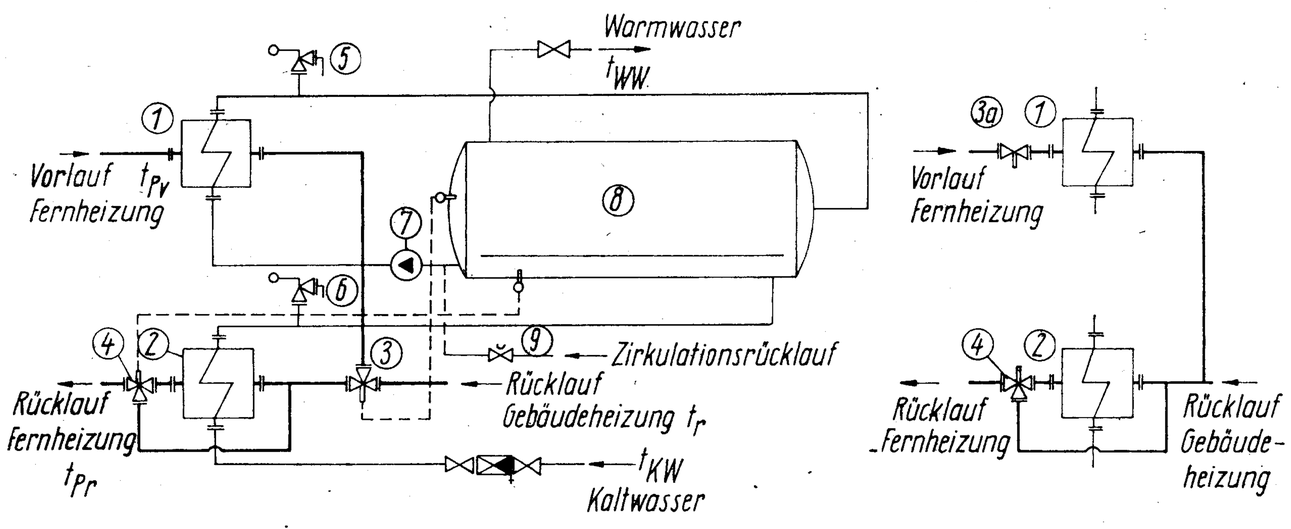
Für die Auslegung von Anlagen im reinen Durchflußsystem ohne Speicher müssen die Verbrauchswerte „Minutenspitze" bekannt sein. Darüber liegen nur wenig Veröffentlichungen vor, und diese sind bezüglich der Allgemeingültigkeit zweifelhaft, da zahlreiche Einflüsse — z. B. auch das Fernsehprogramm — auf die zeitlichen Zapfleistungen vorhanden sind.

Warmwasserbereitungsstation

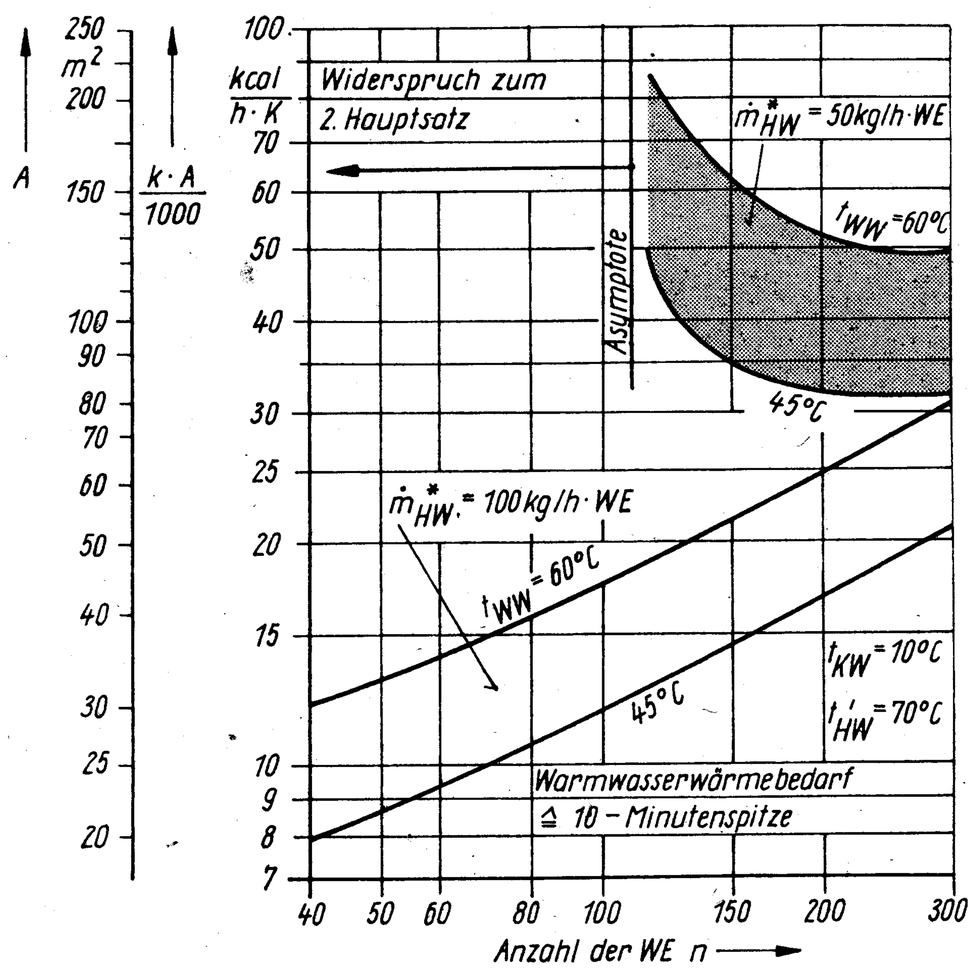
Die einfachste Form der Warmwasserbereitung stellt das reine Speicherprinzip dar. Es werden handelsübliche Boiler mit einem Thermo-Regelventil im Heizwasservorlauf vor-



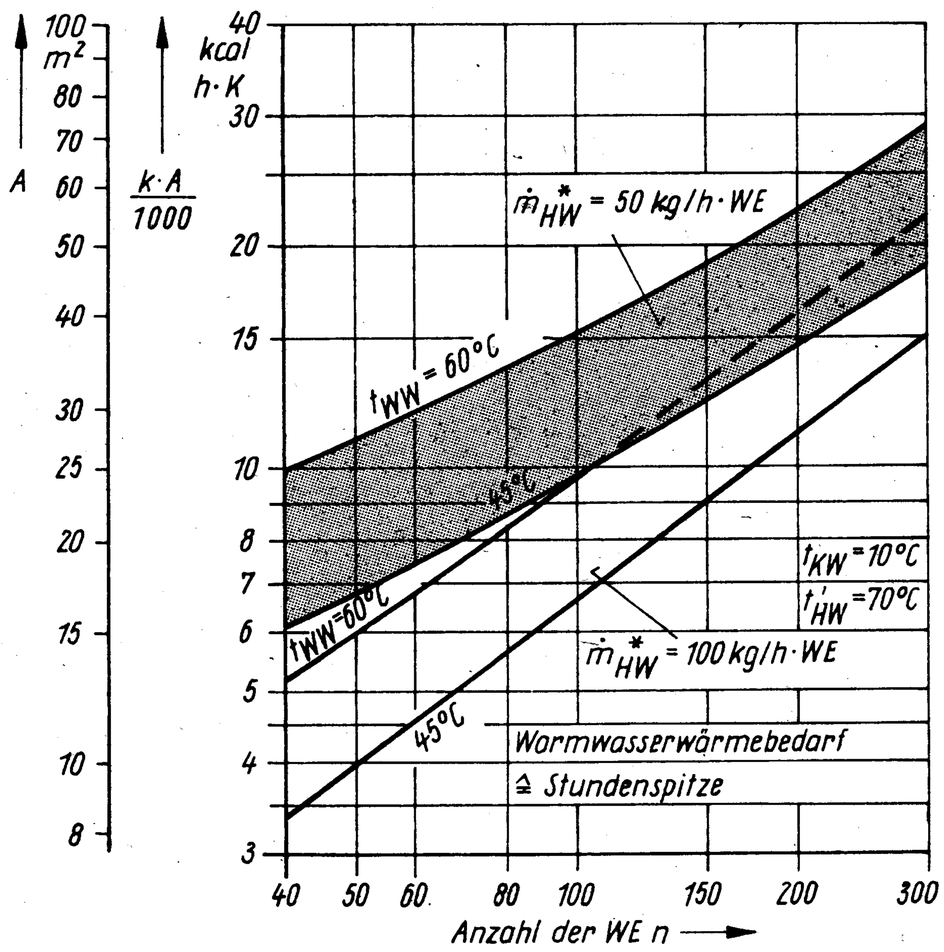
1



2



3



4

gesehen. Demgegenüber ist das Durchflußsystem mit Kühlung des Rücklaufes der Gebäudeheizung sehr materialintensiv. Außerdem ist es kompliziert in Bezug auf die regelungstechnische Beherrschung der Gebrauchswarmwassertemperatur.

Es wird ein kombiniertes Durchfluß-Speichersystem nach Bild 2 vorgeschlagen. Das Kaltwasser strömt aus Gründen des Korrosionsschutzes durch das Rohrbündel des Wärmeübertragers 2, der mit dem Rücklauf des Gebäudeheizungssystems beaufschlagt wird. Beträgt die Rücklauftemperatur mehr als 60 °C, so kann bei geringer Warmwasserentnahme diese Temperatur ebenfalls auf Werte $>$ 60 °C ansteigen. In diesem Fall wird durch das Zweiwege-Ventil 4 der Vorwärmer 2 umgangen. Die Umgehung muß also nicht generell vorhanden sein. Das vorgewärmte Brauchwasser fließt in den Speicher 8. Es dürfte zweckmäßig sein, dort ein Prallblech anzuordnen. Eine Umwälzpumpe 7 dient als Ladepumpe für den Speicher, in dem das vorgewärmte Wasser durch das Rohrbündel des Nachwärmers 1 geleitet wird und in den Speicher zurückfließt. Außerdem übernimmt die Pumpe 7 die Zirkulation für das Gebäudesystem. Die Einregulierung erfolgt durch das Drosselventil 9. Der Nachwärmer 1 wird mit Vorlaufwasser aus dem Fernheiznetz beaufschlagt. Die Regelung kann mit einem Zweiwege-Ventil 3 erfolgen, das bei Zuspeisung aus dem Fernheiznetz gleichzeitig die Gebäudeheizung drosselt, oder durch ein Einweg-Ventil 3a, das eine parallele Entnahme gestattet.

In den meisten Fällen werden die Beimisch- und Warmwasserbereitungsstationen gemeinsam eingesetzt. Es ist dann zweckmäßig, das Motorventil der Beimischstation für beide Anlagenteile zu nutzen und in der gemeinsamen Fernheizeinspeisung anzuordnen. Die Sicherheitsabschaltung bei zu hoher Sekundär-Vorlauftemperatur ist noch um eine Sicherheitsabschaltung bei zu hoher Brauchwassertemperatur erweiterungsfähig. Wird Mengenbegrenzung gefordert, so ist diese ebenfalls in der gemeinsamen Anschlußleitung anzuordnen. Dieses Anschlußstück kann als weitere Baugruppe in verschiedenen Dimensionen vorgefertigt werden. Die Verhältnisse auf der Heizwasserseite (dicke Linien im Bild 2) sind somit eindeutig, während brauchwasserseitig noch einige Probleme der experimentellen Klärung bedürfen. So sind speziell die günstigsten Anschlußpunkte der Leitungen an den Speicher sowie die regelungstechnisch optimalsten Anordnungen der Temperaturfühler zu ermitteln. Die Sicherheitsventile werden nach [6] bemessen.

Berechnungsunterlagen

Die Entwicklung einer Typenreihe von Warmwasserbereitungsstationen nach dem kombinierten Durchfluß-Speichersystem erfordert vorab Festlegungen, die objektiv zu erarbeiten sind.

Bemessung des Vorwärmers

Ausgehend von einem Wärmebedarf je Wohnungseinheit $\dot{Q}_{WE} = 4000$ kcal/h·WE, der zur Zeit als Optimum [7] gilt, ergeben sich in Abhängigkeit der Temperaturspreizung im Fernheiznetz folgende zugehörige Primär-Massenströme $\dot{m}^*_{HW}$ im Vollastfall

$$150\ °C/70\ °C \rightarrow \dot{m}^*_{HW} = 50\ kg/h \cdot WE$$

$$110\ °C/70\ °C \rightarrow \dot{m}^*_{HW} = 100\ kg/h \cdot WE.$$

Diese großen Unterschiede weisen bereits darauf hin, daß es kaum möglich sein wird, die Größe einer Station einer jeweils bestimmten Anzahl von Wohnungen n fest zuzuordnen, sondern daß die Betriebsweise des Fernheiznetzes einzubeziehen ist. Da der zugrunde gelegte Wärmebedarf $\dot{Q}_{WE}$ ebenfalls nur eine Annahme ist, folgt:

Die Stationsgröße ist in Funktion von (n; $\dot{m}^*_{HW}$) zu entwickeln und auszuwählen.

Die Gebrauchswarmwassertemperatur darf zwischen 45 °C und 60 °C schwanken. Vorgegeben ist nach Bild 1 lediglich der Wärmebedarf der 10-Minuten-Spitze und der Stundenspitze. Diese Verbrauchswerte wurden mit den Grenztemperaturen (45 °C und 60 °C) und den zur Verfügung stehenden Heizwasserströmen (50 kg/h · WE und 100 kg/h · WE) kombiniert, und nach umfangreicher Zwischenrechnung wurde der erforderliche Wert $k \cdot A$ für den Wärmeübertrager, der mit dem Rücklauf der Raumheizung beaufschlagt wird, ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Bildern 3 und 4 wiedergegeben.

Um eine Größenvorstellung bezüglich der erforderlichen Heizfläche A zu erlangen, wurde überschlägig $k = 400$ kcal/m² · h · K (Berücksichtigung von Verschmutzung) gesetzt und je eine zusätzliche Leiter in den Diagrammen angeordnet. Es ist sofort ersichtlich, daß es nicht praktikabel ist, die Wärmemenge der 10-Minuten-Spitze an das Gebrauchswarmwasser zu übertragen. So existiert bei einem Heizmedienstrom von $\dot{m}^*_{HW} = 50$ kg/h · WE erst bei $n > 120$ WE eine Lösung $k \cdot A$ im endlichen Bereich. Bei etwa $n = 110$ WE ist eine Unendlichkeitsstelle vorhanden, und bei $n < 110$ WE liegt sogar ein Widerspruch zum 2. Hauptsatz vor, da eine Unterkühlung des Heizmedienstromes bis unter die Eintrittstemperatur des Kaltwassers (10 °C) erforderlich würde. Diese Lösungsunterschiede sind dadurch erklärbar, daß je Wohnung ein konstanter Heizmedienstrom vorliegt, während der spezifische Gebrauchswarmwasserbedarf, bezogen auf eine Wohnung mit zunehmender Versorgungszahl auf Grund des Gleichzeitigkeitsfaktors sinkt. Bei einem Heizmedienstrom von $\dot{m}^*_{HW} = 100$ kg/h liegt im betrachteten Bereich eine durchgehende endliche Lösung vor. Die ausgewiesenen Heizflächen sind jedoch aus technischen und ökonomischen Gründen nicht realisierbar.

Der Bemessung des Vorwärmers ist der Wärmebedarf der Stundenspitze zugrunde zu legen.

Bild 4 zeigt den großen Einfluß der Heizwassermenge auf die erforderliche Heizfläche. So kann näherungsweise mit der gleichen Heizfläche bei $\dot{m}^*_{HW} = 100$ kg/h · WE, $t_{WW} = 60$ °C und bei $\dot{m}^*_{HW} = 50$ kg/h · WE, $t_{WW} = 45$ °C erreicht werden.

Aus ökonomischen Gründen ist im Vollastfall (Heizmedientemperatur $t'_{HW} = 70$ °C) auf eine Gebrauchswarmwassertemperatur $t_{WW} = 45$ °C zu orientieren.

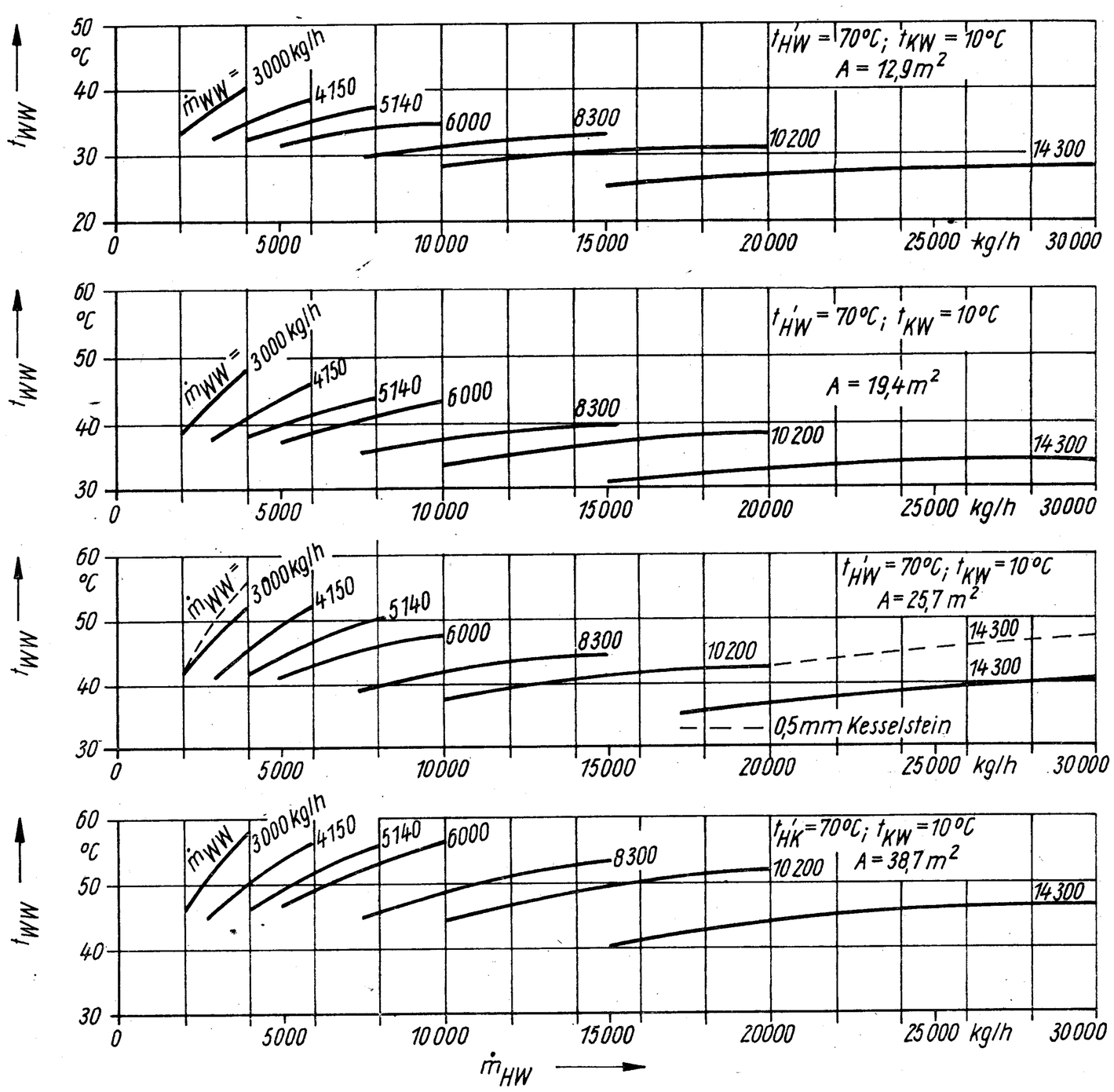
Auf dieser Grundlage erfolgt die computergestützte Bemessung des Vorwärmers.

Mit dem in [8] vorgestellten Rechenprogramm wurden umfangreiche Leistungskennfelder ermittelt. Als Grundlage dienten folgende Eingabedaten:

Stoffströme

Eintrittstemperatur des Kaltwassers	t_{KW}	= 10 °C
Eintrittstemperatur des Heizwassers	t'_{HW}	= 70 °C
Heizmedienmenge je Wohnungseinheit	$\dot{m}^*_{HW}$	= 50; 60; 80; 100 kg/h · WE
Warmwassermenge	$\dot{m}_{WW}$	= 3000; 4150; 5140; 6000; 8300; 10200; 14300 kg/h

Werte aus Bild 1 für $t_{WW} = 45$ °C für $n = 40$; 60; 80; 100; 150; 200; 300 WE.



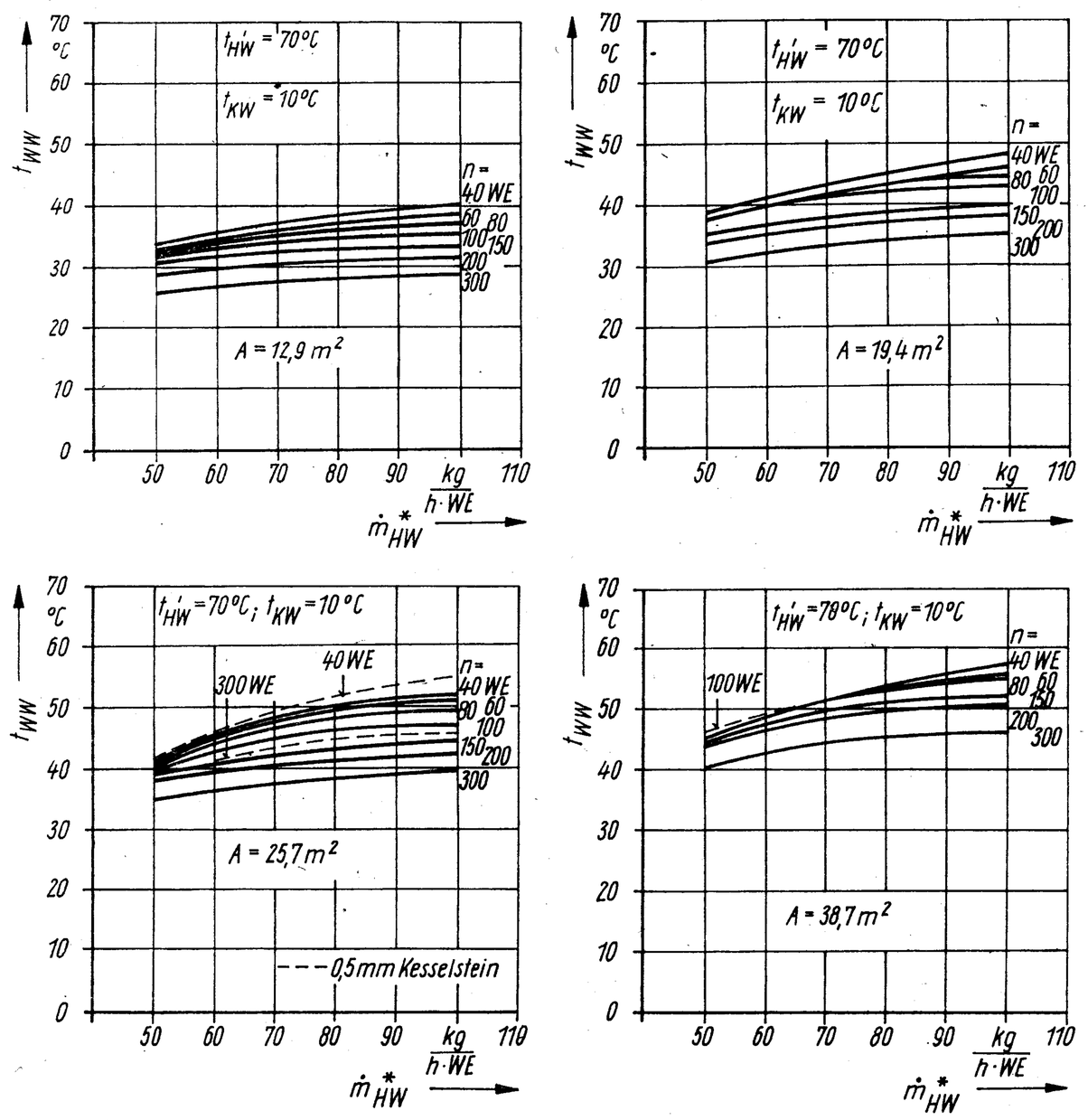
5

Wärmeübertrager

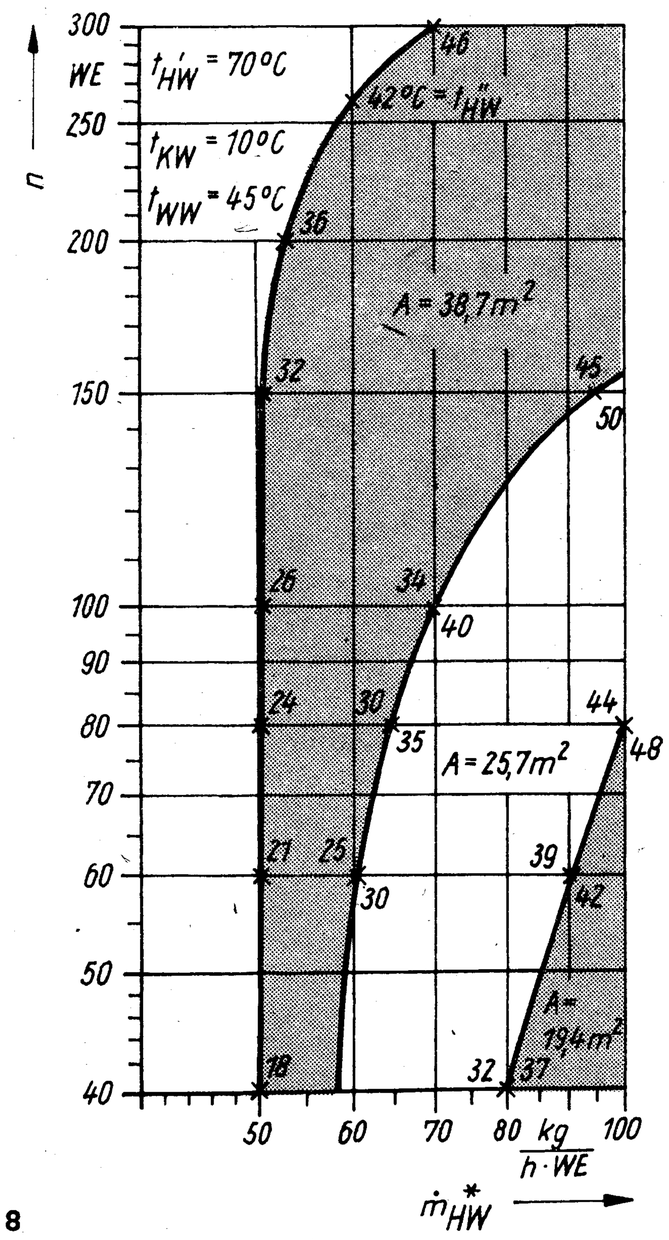
$A_{\text{Mantelraum}} = 0{,}01846\ \text{m}^2$ (geometrisches Mittel)
$A_{\text{Rohrraum}} = 0{,}00362\ \text{m}^2$
$A_{\text{Heizfläche}} = 12{,}9\ \text{m}^2;\ 19{,}4\ \text{m}^2;\ 25{,}7\ \text{m}^2;\ 38{,}7\ \text{m}^2$
$L = 2\ \text{m},\ \lambda = 14\ \text{kcal/m}\cdot\text{h}\cdot k$ (Rohrbündel aus V2A-Stahl)
Gebrauchswasser fließt durch die Rohre
innere Kesselsteinschicht 1 mm ($\lambda_K = 1\ \text{kcal/m}\cdot\text{h}\cdot k$)
Rohrdurchmesser $d_{Ra}/d_{Ri} = 0{,}016/0{,}014$ m; $d_i = 0{,}012$ m
$K = 0{,}24$; $Z = 0{,}8$ ($\triangleq 25\,\%$ Heizflächenzuschlag)

Der Zuschlag wurde wegen eventueller äußerer Verkrustung und wegen nicht idealen Gleichstromes im Wärmeübertrager, der konstruktiv bedingt ist, gewählt.

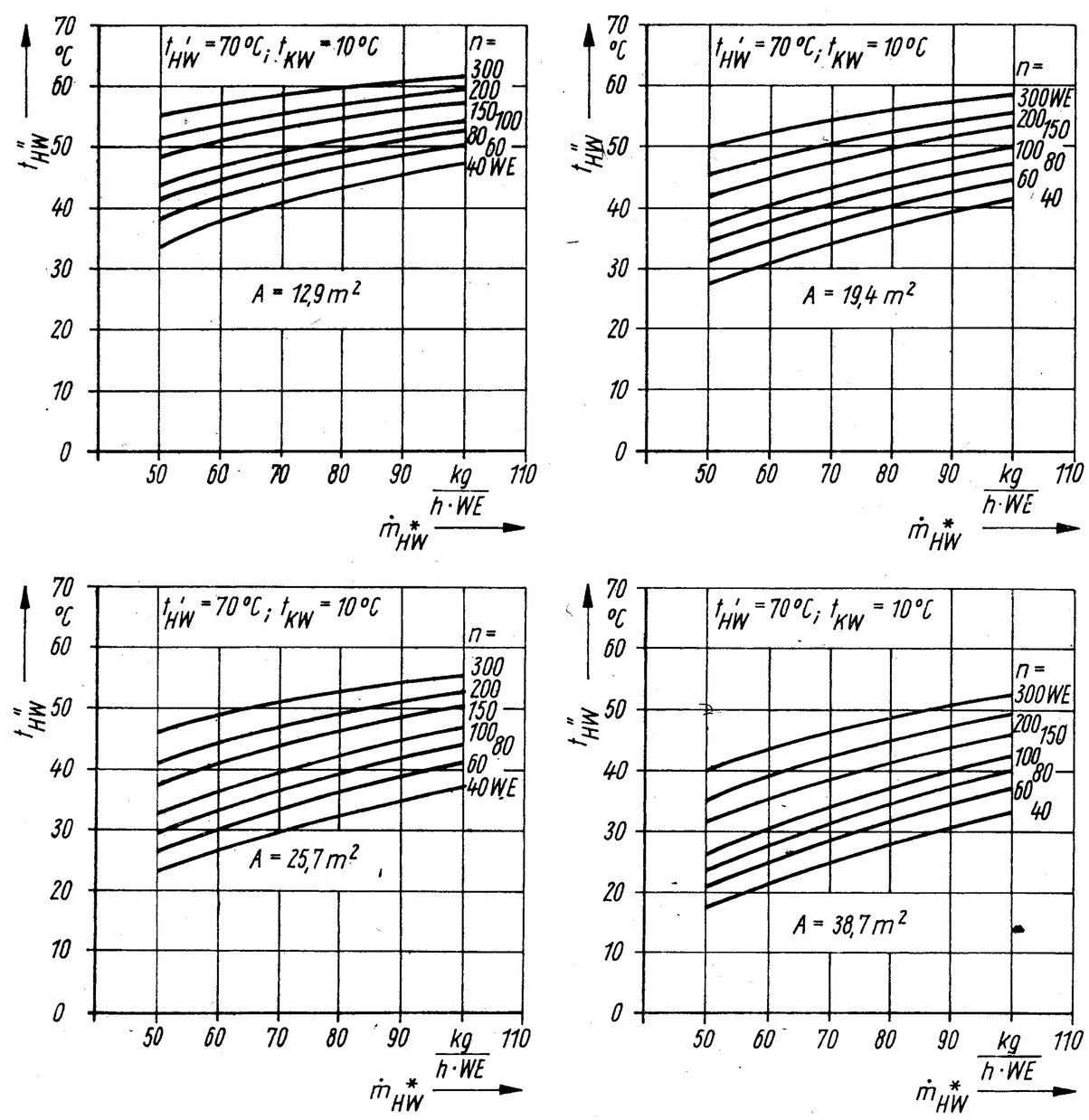
Die Ergebnisse — die Warmwassertemperaturen in Abhängigkeit der Massenströme $t_{WW} = f(\dot{m}_{WW}, \dot{m}_{HW})$ — sind im Bild 5 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß die Wärmeübertrager mit $A = 12{,}9\ \text{m}^2$ nicht einsetzbar und mit $A = 19{,}4\ \text{m}^2$ nur begrenzt anwendbar sind, da die geforderten $t_{WW} = 45\ °\text{C}$ nur teilweise erreicht werden.



6



8

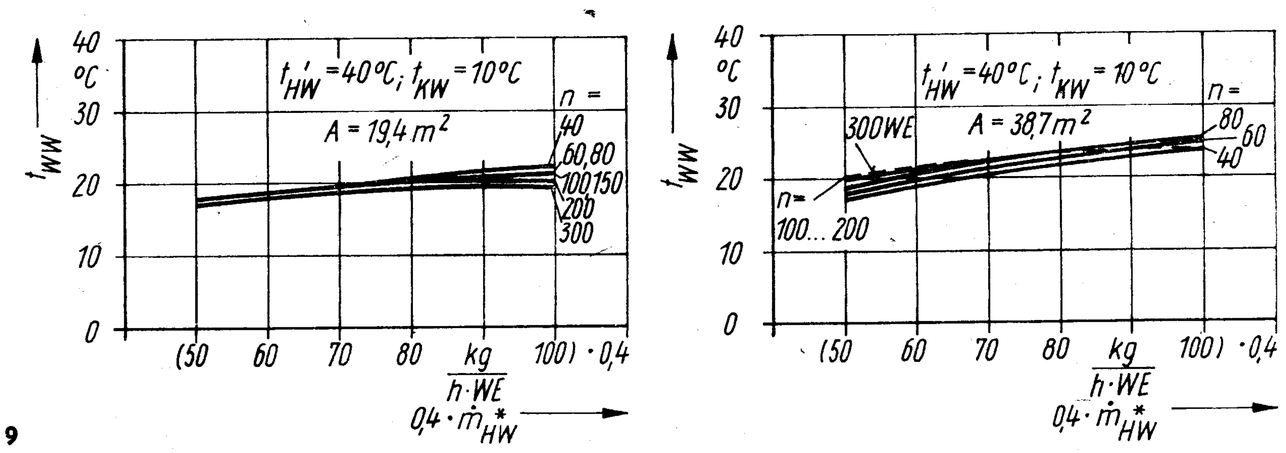


7

Für die Auswahl des Vorwärmers reichen die dargestellten Diagramme aus. Beim Einsatz im Wohnungsbau können die Ergebnisse noch spezieller aufbereitet werden. So sind im Bild 6 die Warmwassertemperaturen in Funktion des spezifischen Heizmedienstromes, bezogen auf die Wohnungseinheit, und der Wohnungsanzahl $t_{WW} = f(\dot{m}^*_{HW}, n)$ wiedergegeben. Die geringen Unterschiede in den Kurvenverläufen deuten auf relativ große Einsatzbereiche der einzelnen Wärmeübertragertypen hin.

Um den Einfluß der Dicke des Kesselsteins zu zeigen, sind in den Bildern 5 und 6 für zwei spezielle Grenzfälle 0,5 mm zugrunde gelegt. Während bei schwach belasteten Heizflächen (40 WE) die Ergebnisse wenig abweichen, ist der Unterschied bei starker Belastung (300 WE) erheblich.

Im Bild 7 sind die Heizmedien-Austrittstemperaturen $t''_{HW} = f(\dot{m}^*_{HW}, n)$ aufgetragen. Bild 8 zeigt eine zusammenfassende Darstellung, die in einfacher Weise die Auswahl der geeigneten Vorwärmergruppe gestattet.



9

Ausgehend von der Anzahl der zu versorgenden Wohnungen n und dem spezifischen Heizmedienstrom $\dot{m}^*_{HW}$, der die Vorwärmer beaufschlagt, wird sofort der notwendige Wärmeübertragertyp ausgewiesen. In diskreten Punkten sind zusätzlich die Heizmedien-Austrittstemperaturen vermerkt. Sie schwanken zwischen $t''_{HW} = 18 \ldots 50$ °C.

Da bei großen Abnehmerzahlen die Gleichzeitigkeit sinkt, steigt der Bedarf degressiv. Außerdem steigt die Wärmedurchgangszahl mit zunehmenden Massendurchsätzen stark an (bis auf 200 Prozent), so daß die Übertragungsleistung erheblich wächst. Beide Einflüsse ergeben die großen Einsatzbereiche für eine Konstruktion. Dies ist für die Serienproduktion besonders effektiv.

Weiterhin läßt Bild 8 erkennen, daß eine Auswahl allein nach der Wohnungsanzahl, ohne Beachtung der spezifischen Heizmedienströme, wie dies derzeit noch geschieht, unreal ist.

Abschließend wurden die Warmwassertemperaturen ermittelt, die an der Grenze für die Raumheizung (Belastungsgrad $\lambda = 0{,}2$) zu erwarten sind. Die Leistung des Vorwärmers geht natürlich mit abnehmender Rücklauftemperatur und Heizwassermenge stark zurück. Wie groß die verfügbare Heizwassermenge ist, hängt von der Fahrweise des Primärnetzes ab.

Für die in [9] ermittelten optimalen Fahrkurven ergeben sich an der Heizgrenze ungefähr 40 Prozent des bei Vollast transportierten Massenstromes. Für diesen Heizmedienstrom, bei einer Temperatur von $t'_{HW} = 40$ °C, sind die Warmwassertemperaturen für zwei ausgewählte Wärmeübertragergrößen in Abhängigkeit der Wohnungsanzahl in Bild 9 wiedergegeben. Das Ergebnis ist insofern interessant, als fast unabhängig von der Heizflächengröße und der Zahl der Wohnungen mit $t_{WW} \approx 20$ °C gerechnet werden kann.

(Wird fortgesetzt)