Wärme- und Massenströme (IV)

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

3. Komplexbeispiel und Schlußfolgerungen

3.1. Komplexbeispiel

Ein Wohngebiet mit 7 200 Wohnungen und zahlreichen gesellschaftlichen Bauten wird durch ein Wärmenetz mit den Auslegungstemperaturen 130 °C/70 °C mit Wärme versorgt. Es handelt sich um ein Zweileiternetz, das strahlenförmig von einer im Zentrum des Wohngebiets liegenden Wärmeübertragerstation zu den Abnehmern führt. Im einzelnen sind folgende Daten bekannt:

Abnehmer $j = 1 \ldots 20$ (Wohnungsbau, fünf Geschosse, 3 000 WE)

Über 20 Hausanschlußstationen werden jeweils 150 Wohnungen (WE) versorgt. Die Projektwerte der sekundärseitig angeschlossenen Zweirohrheizungen (maschinell berechnet) lauten: $Q_{AN} = 825$ kW; $t_V^{+}/t_R^{+} = 108$ °C/68 °C, $\dot{m}_A = 4{,}91$ kg/s.
Statistische Erhebungen ergaben weiterhin für diesen Typ, daß die Einschaltwahrscheinlichkeit der Heizflächen in den Schlafzimmern 65 Prozent beträgt. Die dort installierte Heizleistung ist etwa ein Viertel des Anschlußwertes der Wohnung.

Abnehmer $j = 21 \ldots 50$ (Wohnungsbau, elf Geschosse, 4 200 WE)

Für je 140 WE ist eine Hausanschlußstation eingesetzt. Insgesamt sind das 30 Stationen. Die Projektwerte der nachgeschalteten, maschinell berechneten Einrohrheizungen sind:

$Q_{An} = 728$ kW; $t_V^{+}/t_R^{+} = 110$ °C/72 °C. $\dot{m}_A = 4{,}56$ kg/s.

Es wurde festgestellt, daß zahlreiche Bewohner die in den Küchen und Schlafräumen installierten Heizkörper abschalten. Die statistische Ermittlung ergab Einschaltwahrscheinlichkeiten $p_{Küche} = 0{,}90$ und $p_{Schlafz.} = 0{,}80$. Die Leistungsanteile der installierten Heizflächen betragen für die Küche 10 Prozent und für das Schlafzimmer 20 Prozent.
Die Warmwasserbereitung der beiden Abnehmergruppen erfolgt durch die Hausanschlußstationen, die bei Heizungsvollast nur mit der Auskühlung des Heizungsrücklaufs arbeiten. Der künftige Betreiber ermittelte für ein bestehendes, im Aufbau vergleichbares Wohngebiet, daß je Wohnung im Mittel eine tägliche Warmwassermenge von 144 l/d verbraucht wird. Die Temperatur des Warmwassers am Austritt der Stationen betrug 60 °C. Der Tagesgang konnte grob quantifiziert werden:

- Morgenspitze von 5.00 bis 8.00 Uhr relativ gleichmäßig, keine gesetzmäßig erkennbaren Erhebungen, 30 Prozent des Tagesverbrauchs
- Tagesverbrauch von 9.00 bis 17.00 Uhr relativ gleichmäßig, 20 Prozent des Tagesverbrauchs
- Abendspitze von 17.00 bis 21.00 Uhr mit markanter Erhebung um 19.00 Uhr, Maximalwert wurde nicht fixiert, 50 Prozent des Tagesverbrauchs.

Abnehmer $j = 51 \ldots 55$ (Schulen mit Turnhallen, fünf Objekte)

Das Projekt wurde automatisiert bearbeitet. Es gelten für die Zweirohr-Heizungsanlage: $Q_{An} = 700$ kW, $t_V^{+}/t_R^{+} = 110$ °C/69 °C, $\dot{m}_A = 4{,}07$ kg/s. Die Lüftungs- und Warmwasserbereitungsanlagen sind für 130 °C/70 °C ausgelegt; die Leistungen betragen 120 kW und 100 kW.
Die Schulen und Turnhallen werden über den Zeitraum von 7.00 bis 20.00 Uhr genutzt. Weiterhin gelten folgende Festlegungen:

6.00 bis 7.00 Uhr – Die Heizungsanlage wird mit etwa 120 Prozent Leistung zum Aufheizen der Anlage und des Gebäudes betrieben, Lüftungsanlage 100 Prozent, die Warmwasserbereitung ist in diesem Zeitraum abgeschaltet.

7.00 bis 14.00 Uhr – Heizungs-, Lüftungs- und Warmwasserbereitungsanlagen arbeiten mit der Auslegungsleistung.

14.00 bis 20.00 Uhr – Die Heizungsanlage wird mit einer Last von etwa 60 Prozent betrieben, da nur spezielle Raumgruppen beheizt werden. Die Lüftungs- und Warmwasserbereitungsanlagen arbeiten voll.

20.00 bis 6.00 Uhr – Betrieb der Heizungsanlage mit Nachtabsenkung (etwa 60 Prozent).

Abnehmer $j = 56 \ldots 62$ (Kindergärten/Kinderkrippen, sieben Objekte)

Die manuell projektierte Zweirohrheizung weist folgende Werte auf: $Q_{An} = 300$ kW, $t_V^{+}/t_R^{+} = 110$ °C/70 °C, $\dot{m}_A = 1{,}61$ kg/s. Parallel werden je eine Lüftungs- und Warmwasserbereitungsanlage mit den Leistungswerten 60 kW und 70 kW bei den Auslegungsparametern 130 °C/70 °C betrieben. Die Erfahrungen bei diesem Gebäudetyp zeigten, daß aufgrund des vorhandenen Speichervermögens die Anlage von 18.00 bis 5.00 Uhr abgeschaltet werden kann und zum Aufheizen lediglich die Lüftung mit Umluft zu betreiben ist.

Abnehmer $j = 63$ (Schwimmhalle)

Einzelheiten über die wärmetechnischen Einrichtungen in diesem Objekt sind nicht bekannt. Es besteht lediglich ein Wärmelieferfervertrag mit den Angaben $Q_{max} = 1\,800$ kW und $t_V^{+}/t_R^{+} = 130$ °C/60 °C.

Abnehmer $j = 64$ (Altersheim)

Über dieses Gebäude liegen nur die Planungsangaben $Q_{max} = 1\,200$ kW und $t_V^{+}/t_R^{+} = 130$ °C/70 °C vor.

Abnehmer $j = 65$ (Waschzentrale)

Die Hauptwärmeverbraucher sind vier 5 000-l-Boiler mit einer installierten Heizfläche von je 6,7 m². Die Aufheizzeit von einer Anfangstemperatur 20 °C auf eine Endtemperatur 80 °C beträgt drei Stunden. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist mit 350 W/m²K und der Massenstrom mit 1,2 kg/s je Warmwasserbereiter anzunehmen.
Das Betriebsregime schreibt vor, daß in den Zeiträumen von 5.00 bis 8.00 Uhr und von 17.00 bis 21.00 Uhr die Boiler abgeschaltet und außerhalb dieser Zeiten nur je zwei Boiler zu betreiben sind. Die Lüftungsanlage (150 kW) und das Zweirohr-Heizungssystem (20 kW) arbeiten durchgängig. Beide Systeme werden ohne Beimischung mit dem Fernheizmedium (130 °C) beaufschlagt und sollen projektgemäß eine Rücklauftemperatur von 70 °C erreichen. Eine eingebaute Wärmerückgewinnungsanlage gestattet, die Leistung der Lüftung auf 40 Prozent des Projektwertes zu reduzieren.

Abnehmer $j = 66$ (Apotheke, Ambulanz)

Das manuell erarbeitete Projekt weist folgende Werte aus: Heizung 520 kW, Lüftung 40 kW, Warmwasserbereitung 140 kW. Der Anschluß erfolgt über eine Hausanschlußstation, die durch Rücklaufauskühlung auch die Warmwasserbereitung übernimmt. Das Heizungssystem soll bei den Auslegungstemperaturen 110 °C/70 °C, die Lüftungsanlage mit 130 °C/70 °C arbeiten.

Die Anlagen sollen nur zwischen 6.00 und 18.00 Uhr betrieben werden. Eine höhere Leistung zum Aufheizen ist wegen unterschiedlicher Anfangszeiten der Einrichtungen nicht erforderlich.

Abnehmer j = 67,68 (Versorgungszentren, zwei Objekte)

Für diese Objekte sind Wärme-Höchstleistungen von 800 kW und Temperaturen von 130 °C/60 °C vertraglich vereinbart. Weitere Einzelheiten sind nicht bekannt.

Abnehmer j = 69, 70 (Gaststätten, zwei Objekte)

Der künftige Nutzer hat an den gleichen Objekten, die ebenfalls in einem Neubaugebiet betrieben werden, Messungen der erforderlichen Wärme- und Massenströme vorgenommen. Es gelten je Objekt für die angegebenen Zeiträume:

	5.00 bis 10.00	10.00 bis 14.00	14.00 bis 16.00	16.00 bis 22.00
$\dot{Q}$ (τ) in kW	240	510	410	350
$\dot{m}$ (τ) in kg/s	0,96	1,51	1,21	1,20

Abnehmer j = 71 (Mehrzweckgebäude)

Dieses Objekt ist ein Experimentalbau, in dem mehrere moderne Heizungssysteme (Niedertemperatur-Flächenheizungen), Wärmerückgewinnungsanlagen und Lüftungsanlagen mit gesteuerter Einschränkung der Außenluftrate bei niedrigen Außenlufttemperaturen installiert werden. Als Wärme-Höchstleistung sind 520 kW und als Rücklauftemperatur 30 °C zu planen.

Folgende Aufgaben sind zu lösen:

- Bestimmung der Wärme-Höchstleistung des Wärmenetzes
- Ermittlung der Gesamtwärmeleistung des Wärmenetzes
- Gesamtmassenstrom des Wärmenetzes
- Überschlägliche Berechnung der Rücklauftemperatur an der Einspeisestelle.

Lösung

Zunächst sind die Belastungsannahmen zusammenzustellen. Da ein genauer Lageplan sowie die Transportzeiten zu den Abnehmern fehlen, kann deren Einfluß nicht berücksichtigt werden.

Aufgrund der zentralen Lage der Wärmeübertragerstation können die Transportzeitunterschiede zwischen den einzelnen Objekten auch nicht allzu groß sein. Nach /11/ sind Größenordnungen von $\Delta\tau_N \approx 15$ min zu erwarten. Damit können gemäß den Aussagen im Abschnitt 2.1.1. die Abnehmer zu Abnehmerkomplexen zusammengefaßt werden, wenn ihre Abnehmercharakteristiken gleich sind. Somit bilden beispielsweise alle fünf Schulen einen Abnehmerkomplex. Im weiteren werden diese Abnehmerkomplexe k einzeln *betrachtet.*

k = 1 Wohnungsbau — fünf Geschosse

Da die Auslegungstemperaturen der Gebäudeheizungsanlagen, die Gleichzeitigkeitsfaktoren und die Heizungssysteme sich gegenüber den 11geschossigen Gebäuden unterscheiden, ist die Zusammenfassung zu einem Komplex nicht möglich.

Der Ausnutzungsgrad des Abnehmers wird nach Gl. (7) mit $a_A = 0{,}95$ angesetzt. Damit ergibt sich je Abnehmerstation nach Gl. (1)

$$Q_{Norm} = 0{,}95 \cdot 825 \text{ kW} = 784 \text{ kW}.$$

Eine weitere Minderung ist bei Berücksichtigung der Einschaltwahrscheinlichkeit der Heizkörper im Schlafzimmer möglich. Der Einfachheit halber werden je Wohnung vier gleichgroße Heizkörper angesetzt. Somit ergeben sich je Anschlußstation $H = 150 \cdot 4 = 600$ Heizkörper. Aus Tabelle 1 folgt für $n = 150$ WE $\varphi_i = 0{,}77$ als Interpolationswert, so daß Gl. (9) liefert:

$$g_A = \frac{1}{600}\,(450 \cdot 1 + 150 \cdot 0{,}77) = 0{,}94\,.$$

Nach Gl. (2) errechnet sich die Wärme-Höchstleistung des Abnehmers (Hausanschlußstation) zu

$$\dot{Q}_{max} = 0{,}94 \cdot 784 \text{ kW} = 737 \text{ kW}\,.$$

Bezogen auf den gesamten Abnehmerkomplex (vgl. Abschn. 2.1.1.) mit $n_k = 3000$ WE und $H_k = 20 \cdot 600 = 12\,000$ Heizkörpern, ergibt sich nach Tabelle 1 $\varphi_{i,k} \approx 0{,}68$ und

$$g_{k=1} = \frac{1}{12\,000}\,(9000 \cdot 1 + 3000 \cdot 0{,}68) = 0{,}92\,.$$

Der zur Berechnung der Netzwärme-Höchstleistung zu beachtende Summand hat dann den Wert

$$\dot{Q}_{N,k^*=1} = 0{,}92 \cdot 20 \cdot 784 \text{ kW} = 14\,426 \text{ kW}\,.$$

Bei der Ermittlung des Massenstroms muß ebenfalls schrittweise vorgegangen werden. Zunächst ist $\dot{m}_N$ nach Gl. (13) der zwischen Netz- und Hausanschlußstation fließende Massenstrom, zu berechnen. Unter der Voraussetzung, daß der projektmäßige Wert $\dot{m}_A = 4{,}91$ kg/s eingeregelt wird, danach aber die Beheizung entsprechend der Raum-Soll-Temperaturen erfolgt, ergibt sich die tatsächliche Temperaturspreizung nach Gl. (10) zu

$$\Delta t = \frac{784}{4{,}2 \cdot 4{,}91} \text{ K} = 38{,}0 \text{ K}\,.$$

Damit läßt sich näherungsweise die Netz-Rücklauftemperatur nach Gl. (12) bestimmen

$$t_{R,N} = t_R = \frac{108 + 68}{2}\,°\text{C} - \frac{38{,}0}{2} \text{ K} = 69\,°\text{C}\,.$$

Gemäß der Anmerkung im Abschnitt 1.1.2. wird in Gl. (13) $\dot{Q}_{max}$ statt $\dot{Q}_{Norm}$ eingesetzt. Das Abschalten einiger Heizkörper in einem Zweirohrsystem bedeutet eine Verringerung der Sekundärwassermenge, wobei eine Abhängigkeit von Rohrnetz- und Pumpenkennlinie besteht. Es wird angenommen, daß $t_{R,N}$ wie berechnet auch hierfür gilt. Somit wird

$$\dot{m}_N = \frac{0{,}94 \cdot 784}{4{,}2\ (130 - 69)}\,\frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2{,}88 \text{ kg/s}\,.$$

Mit der Gleichzeitigkeit, die für den Abnehmerkomplex berechnet wurde, ergibt sich bei fiktiver gleichmäßiger Verteilung auf die Einzelabnehmer $j = 1 \ldots 20$

$$\dot{m}_{N,j}' = \frac{0{,}92 \cdot 784}{4{,}2\ (130 - 69)}\,\frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2{,}82 \text{ kg/s}\,.$$

k = 2 Wohnungsbau — elf Geschosse

Analog zum vorangegangenen Komplex erfolgt der Rechengang. Es wird wiederum $\varphi_A = 0{,}95$ gewählt, so daß

$$\dot{Q}_{Norm} = 0{,}95 \cdot 728 \text{ kW} = 692 \text{ kW}$$

gilt. Für die Berücksichtigung der Einschaltwahrscheinlichkeit von Küche und Schlafzimmer werde eine fiktive Heizkörperanzahl von 10 angenommen, wobei alle Heizkörper eine gleichgroße Leistung haben. Es ergeben sich damit $H = 1400$ Stück. Nach Tabelle 1 folgen die partiellen Gleichzeitigkeitsfaktoren $\varphi_{Küche} = 0{,}97$ und $\varphi_{Schlafz.} = 0{,}90$ und der des Abnehmers nach Gl. (9) zu

$$g_A = \frac{1}{1400}\,(980 \cdot 1 + 140 \cdot 0{,}97 + 280 \cdot 0{,}90) = 0{,}98\,.$$

Damit ergibt sich die Wärme-Höchstleistung für die Anschlußstation

$$\dot{Q}_{max} = 0{,}98 \cdot 692 \text{ kW} = 678 \text{ kW}\,.$$

Unter Bezugnahme auf den Abnehmerkomplex, sind die partiellen Gleichzeitigkeitsfaktoren neu zu berechnen. Im einzelnen gelten: $n_k = 4200$ WE, $H_k = 42\,000$, $\varphi_{Küche,k} = 0{,}91$, $\varphi_{Schlafz.,k} = 0{,}82$ und

$$\varphi_A = \frac{1}{42\,000}\,(29\,400 \cdot 1 + 4200 \cdot 0{,}91 + 8400 \cdot 0{,}82) = 0{,}96\,.$$

Der für die Netzwärme-Höchstleistung anteilige Summand beträgt dann

$$\dot{Q}_{N,k^*=2} = 0{,}96 \cdot 30 \cdot 692 \text{ kW} = 19\,930 \text{ kW}\,.$$

Bei Einregulierung von $\dot{m}_A = 4{,}56$ kg/s und bei Vorliegen der Norm-Wärmeleistung ist mit der Temperaturspreizung von

$$\Delta t = \frac{692}{4{,}2 \cdot 4{,}56} \text{ K} = 36{,}1 \text{ K}$$

zu rechnen.

Nach Gl. (11) ergibt sich in erster Näherung dann eine Netz-Vorlauftemperatur von

$$t_{V,N} = t_V = \frac{110 + 72}{2}\,°\text{C} + \frac{36{,}1}{2} \text{ K} = 109{,}1\,°\text{C}$$

und nach Gl. (12) eine Netz-Rücklauftemperatur von

$$t_{R,N} = t_R = \frac{110 + 72}{2}\,°\text{C} - \frac{36{,}1}{2} \text{ K} = 73{,}0\,°\text{C}\,.$$

Das Abschalten einiger Heizkörper in einem Einrohrsystem mit Umgehungsleitung führt zur Erhöhung der Abnehmer-Rücklauftemperatur. Bei näherungsweise konstantem Massenstrom ergibt die Temperaturspreizung

$$\Delta t° = \frac{678}{4{,}2 \cdot 4{,}56} \text{ K} = 35{,}4 \text{ K}\,.$$

Da die ermittelte Vorlauftemperatur von 109 °C aus funktionellen Gründen beibehalten werden muß, beträgt die Rücklauftemperatur

$$t_{R,N}° = t_R = 109{,}1\ °C - 35{,}4\ K = 73{,}7\ °C\ .$$

Damit ergibt sich der vom Netz entnommene Massenstrom

$$\dot{m}_N° = \frac{0{,}98 \cdot 692}{4{,}2\ (130 - 73{,}7)}\ \frac{kg}{s} = 2{,}87\ kg/s\ .$$

Bezogen auf den gesamten Abnehmerkomplex ($j = 21 \ldots 50$), reduziert sich der spezifische Wert weiter. Es gelten dann die Mittelwerte:

$$\Delta t' = \frac{0{,}96 \cdot 692}{4{,}2 \cdot 4{,}56}\ K = 34{,}7\ K\ ,$$

$$t_{R,N}' = t_R' = 109{,}1\ °C - 34{,}7\ K = 74{,}4\ °C\ ,$$

$$\dot{m}_{N,j}' = \frac{0{,}96 \cdot 692}{4{,}2 \cdot (130 - 74{,}4)}\ \frac{kg}{s} = 2{,}84\ kg/s\ .$$

$k = 3$ Wohnungsbau — Warmwasserbereitung

Zunächst müssen die in der Aufgabenstellung getroffenen Annahmen genau quantifiziert werden. Dabei interessiert die Wärmeleistung als Zeitfunktion. Ein zur Heizungsanlage paralleler Massenstrom existiert nicht, da die Warmwasserbereitung bei Vollast der Heizungsanlage vollkommen durch Abkühlung des Rücklaufwassers der Gebäudeheizung gedeckt wird. Die je Wohnung an einem Tag verbrauchte Wärmeenergie beträgt gemäß Angabe

$$Q_{WW} = 144 \cdot (60 - 10) \cdot 4{,}20\ \frac{kWs}{d} = 30\,240\ kWs/d\ .$$

Davon werden in der Morgenspitze 30 Prozent ≙ 9072 kWs, im Verlaufe des Tages 20 Prozent ≙ 6048 kWs und während der Abendspitze 50 Prozent ≙ 15 120 kWs verbraucht. Es ergeben sich die zeitabhängigen Netzbelastungen:

5.00—8.00

$$\dot{Q}_{N,k^*=3} = \frac{9072 \cdot 7200}{3 \cdot 3600}\ kW = 6048\ kW$$

8.00—17.00

$$\dot{Q}_{N,k^*=3} = \frac{6048 \cdot 7200}{9 \cdot 3600}\ kW = 1344\ kW$$

17.00—21.00

Der Spitzenwert der Wärmeleistung werde nach Gl. (29) bestimmt. Er lautet

$$\dot{Q}_{max} = 2{,}69 \cdot 7200^{0{,}92}\ kW = \underline{9517\ kW}\ .$$

Bei einer symmetrisch liegenden Leistungsspitze berechnet sich der Verbrauch im gegebenen Zeitintervall auf der Grundlage von Gl. (31) zu

$$Q = \int_{-\tau_1}^{+\tau_1} \dot{Q}_{max}\ e^{-(a\tau)^2}\ d\tau\ .$$

Mit

$$\frac{t^2}{2} = (a\,\tau)^2 \qquad \text{bzw.} \quad t = \sqrt{2}\,a\,\tau$$

ergibt sich

$$\frac{dt}{d\tau} = \sqrt{2}\,a \qquad \text{und} \quad t_1 = \sqrt{2}\,a\,\tau_1$$

sowie

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}\,a} \int_{-t_1}^{+t_1} \dot{Q}_{max}\ e^{-\frac{t^2}{2}}\ dt = \frac{2\,\dot{Q}_{max}}{\sqrt{2}\,a} \int_0^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}}\ dt\ .$$

Durch Substitution des Fehlerintegrals (vgl. Abschn. 1.3.2.) folgt schließlich

$$Q = \frac{2}{a}\ \dot{Q}_{max}\ \sqrt{\pi}\ \Phi\,(\sqrt{2}\ a\tau_1)\ .$$

Leider läßt sich a — der Parameter der Verteilung — nicht explizit darstellen. Er wird iterativ bestimmt. Es gilt die Zahlenwertgleichung

$$7200 \cdot 15\,120 = \frac{2}{a}\ 9517\ \sqrt{\pi}\ \Phi\,(\sqrt{2}\ a\ 2 \cdot 3600)$$

$$a = \frac{\Phi\,(10\,182\ a_0)}{3227}\ .$$

Bezugnehmend auf Tabelle 2, wird als erste Schätzung $a_0 = 0{,}150 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ angenommen. Man erhält $a = 0{,}135 - 10^{-3}\ s^{-1}$. Diesen Wert als a_0 verwendet, ergibt $a = 0{,}129 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$. In Weiterführung des Verfahrens kommt die Iteration bei $a = 0{,}122 \cdot 10^{-3}\ s^{-1}$ zum Stehen. Dieser Exponent ist kleiner als der in Tabelle 2 zur angegebenen Wohnungszahl gehörige Wert. Die Glockenkurve verläuft somit bei gleichem Maximalwert flacher, d. h., die Wärmeleistungen sind beiderseits der Symmetrieachse höher als im Abschnitt 1.3.2. angenommen. Der errechnete Exponent wird deshalb weiterhin verwendet. Es ergibt sich die Leistungskurve

$$\dot{Q}_{N,k^*=3} = 9517\ e^{-[0{,}122 \cdot 10^{-3}(\tau - 19)3600]^2}\ kW\ ,$$

wobei für τ die Uhrzeit zwischen 17.00 und 21.00 Uhr einzusetzen ist. Die Auswertung liefert

τ	in h	17 21	17,5 20,5	18 20	18,5 19,5	19
$\dot{Q}_{N,k^*=3}$	in kW	4400	6166	7847	9069	9517

Den gesamten Kurvenverlauf $\dot{Q}_{N,k^*=3}(\tau)$ zeigt Bild 12. Obwohl dieser hypothetisch ist, dürfte er zur Ermittlung der Netzwärme-Höchstleistung genügen.

$k = 4$ Schulen und Turnhallen

Der Ausnutzungsgrad sei nach Gl. (7) wieder mit $a_A = 0{,}95$ gewählt. Dies möge sicherheitshalber aber nur für die Gebäudeheizung gelten. Somit beträgt die Norm-Wärmeleistung

$$\dot{Q}_{Norm} = 0{,}95 \cdot 700\ kW = 665\ kW\ .$$

Weiterhin sind

$$0{,}6\ \dot{Q}_{Norm} = 399\ kW \quad (14.00 \ldots 6.00\ Uhr)$$
$$1{,}2\ \dot{Q}_{Norm} = 798\ kW \quad (6.00 \ldots 7.00\ Uhr)\ .$$

Günstig wirkt sich das Abschalten der Warmwasserbereitung während des Aufheizens der Gebäudeheizung aus. Da über die Betriebsweise des Lüftungs- und des Warmwasserbereitungssystems keine detaillierten Aussagen vorliegen, müssen die gegebenen Werte unverändert in Ansatz kommen. Zusammenfassend gelten für fünf Schulen

τ	in h	6.00 bis 7.00	7.00 bis 14.00	14.00 bis 20.00	20.00 bis 6.00
$\dot{Q}_{N,k^*=4}$,	in kW	4590	4425	3095	1995

Zur Berechnung des Massenstroms ist zunächst die Temperaturspreizung der Gebäudeheizung zu bestimmen. Nach Gl. (10) ergibt sich

$$\Delta t = \frac{665}{4{,}2 \cdot 4{,}07}\ K = 38{,}9\ K\ .$$

Überschläglich folgt nach Gl. (12) die Rücklauftemperatur

$$t_{R,N} = t_R = \frac{110 + 69}{2}\ °C - \frac{38{,}9}{2}\ K = 70{,}1\ °C\ .$$

Dieser Wert stimmt mit der Angabe für die Lüftungs- und Warmwasserbereitungsanlagen überein, so daß die Gesamtmenge je Objekt aus dem Netz

$$\dot{m}_N = \frac{665 + 120 + 100}{4{,}2\ (130 - 70)}\ \frac{kg}{s} = 3{,}51\ kg/s$$

beträgt. Auf diesen Wert ist der Mengenbegrenzer einzustellen. Der bei Wärme-Höchstleistung des Netzes auftretende Massenstrom $\dot{m}_{N,j}'$ wird nach Ermittlung von $\dot{Q}_{max,N}$ bestimmt.

$k = 5$ Kindergärten, Kinderkrippen

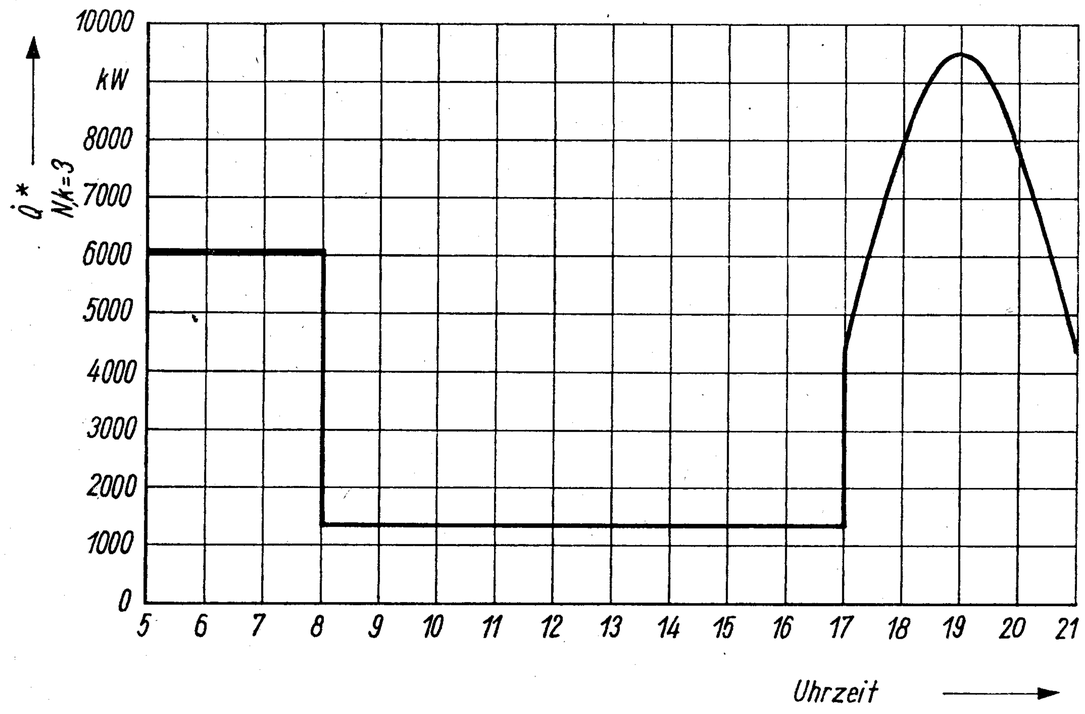
Die Überprüfung der Daten zeigt keine Erfüllung der Enthalpiebilanz. Gemäß Gl. (8) werde $a_A = 0{,}9$ gewählt, so daß

$$\dot{Q}_{Norm} = 0{,}9 \cdot 300\ kW = 270\ kW$$

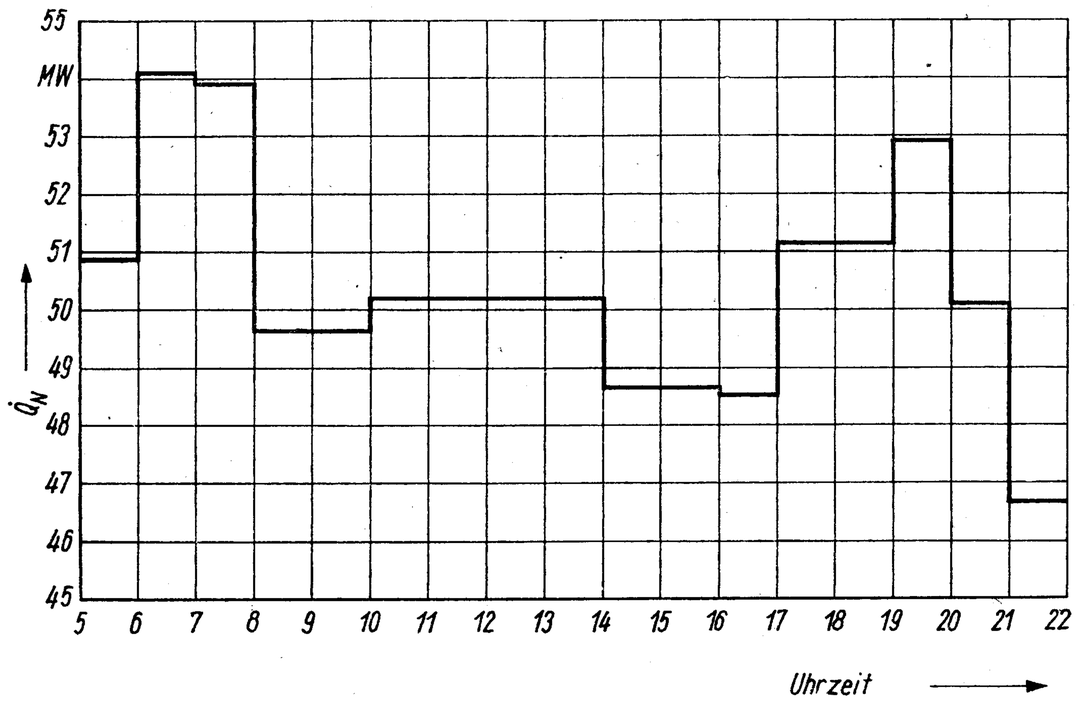
folgt. Der Summand für die Netzwärme-Höchstleistung beträgt für den Abnehmerkomplex

$$\dot{Q}_{N,k^*=5} = (270 + 60 + 70) \cdot 7\ kW = 2800\ kW\ .$$

Unter Annahme, daß der im Projekt ausgewiesene Massenstrom in der praktisch ausgeführten Anlage auch tatsächlich umgewälzt wird, gilt für die Temperaturspreizung nach Gl. (10)



12 Wärmestrom für die Warmwasserbereitung der Wohnungen als Zeitfunktion auf der Grundlage der Angaben im Beispiel und der vorgestellten Hypothese



13 Belastungsdiagramm – Wärmestrom als Zeitfunktion

$$\Delta t = \frac{270}{4{,}2 \cdot 1{,}61}\ \mathrm{K} = 39{,}9\ \mathrm{K}\,.$$

Die Rücklauftemperatur hat dann nach Gl. (12) den Wert

$$t_{R,N} = t_R = \frac{110+70}{2}\ °\mathrm{C} - \frac{39{,}9}{2}\ \mathrm{K} = 70{,}1\ °\mathrm{C}\,.$$

Da diese Temperatur nahezu mit dem nicht überprüfbaren Projektwert für die Lüftung und Warmwasserbereitung zusammenfällt, ergibt sich der objektbezogene Massenstrom aus dem Wärmenetz zu

$$\dot{m}_N = \frac{270 + 60 + 70}{4{,}2\ (130 - 70)}\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} = 1{,}59\ \mathrm{kg/s}\,.$$

Dies verkörpert wiederum den Einstellwert für den Mengenbegrenzer. Er ist gleich $\dot{m}_{N,j'=56\ldots62}$, da während der Betriebszeit eine konstante Lastannahme vorliegt.

k = 6 Schwimmhalle

Die angegebene Leistung ist als Wärme-Höchstleistung vertraglich gebunden und muß als anteilige Netzbelastung

$$\dot{Q}_{N,k^*=6} = 1800\ \mathrm{kW}$$

betrachtet werden. Der zugehörige Massenstrom beträgt

$$\dot{m}_N = \frac{1800}{4{,}2 \cdot (130 - 60)}\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} = 6{,}12\ \mathrm{kg/s}\,.$$

Der Wert ist mit $\dot{m}_{N,j'=63}$ identisch, da keine Angaben über den tatsächlichen Belastungsverlauf vorliegen.

k = 7 Altersheim

Leider sind keine detaillierten Angaben zur Wärmeleistung und keine Aussagen über die Betriebscharakteristik vorhanden, so daß die angegebenen Planungswerte als durchgängig vorhandene Belastung zu werten sind. Es gelten:

$$\dot{Q}^*_{N,k=7} = 1200\ \mathrm{kW}$$

$$\dot{m}_N = \dot{m}'_{N,j=64} = \frac{1200}{4{,}2\ (130 - 70)}\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} = 4{,}76\ \mathrm{kg/s}\,.$$

k = 8 Waschzentrale

Zunächst werde die Aufheizung der Boiler untersucht. Nach Gl. (17) gilt

$$\dot{Q}(\tau) = 1{,}2 \cdot 4{,}2\ (130-20) \left(\frac{130-80}{130-20}\right)^{\frac{\tau}{3}} \left(1 - e^{-\frac{350 \cdot 6{,}7}{1{,}2 \cdot 4200}}\right)\ \mathrm{kW}$$

$$= 206{,}3 \cdot 0{,}4545^{\frac{\tau}{3}}\ \mathrm{kW} \qquad \text{mit } \tau \text{ in h}\,.$$

Die Auswertung liefert:

$\dot{Q}(\tau)$ in kW	0	1	2	3
τ in h	206,3	158,7	121,9	93,8

Da der Ladezustand der Boiler als Zeitfunktion nicht im voraus bekannt ist, muß mit der maximalen Leistung im Zeitraum von 8.00...17.00 Uhr gerechnet werden.

Die Wärmeleistungen für Heizung und Lüftung werden zusammengefaßt betrachtet. Wegen der Kleinheit erfährt der Heizungsanteil keine Reduzierung, die Lüftung ist jedoch stets in Kombination mit der Wärmerückgewinnung zu betreiben. Damit ergeben sich für den Abnehmerkomplex:

τ in h	5.00 bis 8.00	8.00 bis 17.00	17.00 bis 21.00
$\dot{Q}^*_{N,k=8}$ in kW	80	493	80

Tabelle 5: Zusammenstellung der Wärmeleistungen

Abnehmerkomplex k	$\dot{Q}_{N,k}^*$ in kW 5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00
1	14 426																
2	19 930																
3	6 048	6 048	6 048	1 344	1 344	1 344	1 344	1 344	1 344	1 344	1 344	1 344	4 400	7 847	9 517	7 847	4 400
4	1 995	4 590	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	4 425	3 095	3 095	3 095	3 095	3 095	3 095	1 995	1 995
5	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	—	—	—	—
6	1 800																
7	1 200																
8	80	80	80	493	493	493	493	493	493	493	493	493	80	80	80	80	80
9	—	648	648	648	648	648	648	648	648	648	648	648	648	—	—	—	—
10	1 600																
11	480	480	480	480	480	1 020	1 020	1 020	1 020	820	820	700	700	700	700	700	700
12	520																
$\sum_{k=1}^{12} \dot{Q}^*_{N,k} =$	50 879	54 122	53 957	49 666	49 666	50 206	50 206	50 206	50 206	48 676	48 676	48 556	51 199	51 198	52 868	50 098	46 651

Die Massenströme für die Boiler sind vorgegeben (2·1,2 kg/s), und für Raumheizung und Lüftung ergibt sich

$$\dot{m} = \frac{20 + 150}{4{,}2\ (130 - 70)}\ \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0{,}67\ \text{kg/s}\,.$$

Damit beträgt der netzseitige Anschlußwert

$\dot{m}_N = 3{,}07$ kg/s .

Der in Rechnung zu stellende Massenstrom $\dot{m}_{N,j}'$ ist zeitabhängig. Es gelten für 5.00 bis 8.00 und 17.00 bis 21.00 Uhr

$\dot{m}_{N,j}'{}_{=65} = 0{,}67$ kg/s

8.00 bis 17.00 Uhr

$\dot{m}_{N,j}'{}_{=65} = 3{,}07$ kg/s .

k = 9 Apotheke, Ambulanz

Entsprechend Gl. (8) wird $a_A = 0{,}9$ gesetzt, woraus für die Heizung

$\dot{Q}_{Norm} = 0{,}9 \cdot 520$ kW $= 468$ kW

folgt. Die anteilige Wärme-Höchstleistung im Zeitraum von 6.00 bis 18.00 Uhr ergibt sich durch Addition der Anschlußleistungen für die Lüftung und Warmwasserbereitung

$\dot{Q}_{N,k}{}^{*}{}_{=9} = (468 + 40 + 140)$ kW $= 648$ kW .

Da der Massenstrom im Gebäudesystem unbekannt ist, muß im weiteren auf die im Projekt angegebene Rücklauftemperatur von 70 °C bezogen werden. Es gilt unter Einbeziehen der Lüftung für den von der Hausanschlußstation entnommenen Massenstrom

$$\dot{m}_N = \frac{468 + 40}{4{,}2\ (130 - 70)}\ \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2{,}02\ \text{kg/s}\,.$$

Dieser Wert ist identisch mit $\dot{m}_{N,j}'{}_{=66}$. Auf ihn wird der Mengenbegrenzer eingestellt.

k = 10 Versorgungszentren

Da leider keinerlei Detaillierung des Belastungsverlaufs vorliegt, muß der gegebene Wert in voller Größe als Summand für die Netzwärmeleistung gelten

$\dot{Q}_{N,k}{}^{*}{}_{=10} = 2 \cdot 800$ kW $= 1600$ kW .

Der Massenstrom beträgt für die Objekte j=67 und 68

$$\dot{m}_N = \dot{m}_{N,j}' = \frac{800}{4{,}2\ (130 - 60)}\ \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2{,}72\ \text{kg/s}\,.$$

k = 11 Gaststätten

Bei diesem Komplexabnehmer ist eine genaue Darstellung des Belastungsverlaufs vorhanden. Während die Wärmeleistung $\dot{Q}_{N,k}{}^{*}$ für beide Gaststätten — d. h. den Abnehmerkomplex — angegeben wird, bleibt $\dot{m}'_{N,j}$ weiterhin objektbezogen (j=69, 70):

τ	in h	5.00 bis 10.00	10.00 bis 14.00	14.00 bis 16.00	16.00 bis 22.00
$\dot{Q}_{N,k}{}^{*}{}_{=11}$	in kW	480	1020	820	700
$\dot{m}_{N,j}'$	in kg/s	0,96	1,51	1,21	1,20

k = 12 Mehrzweckgebäude

Gemäß Angaben gelten

$\dot{Q}_{N,k}{}^{*}{}_{=12} = 520$ kW

und

$$\dot{m}_N = \dot{m}_{N,j}'{}_{=71} = \frac{520}{4{,}2\ (130 - 30)}\ \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1{,}24\ \text{kg/s}\,.$$

Wärme-Höchstleistung des Wärmenetzes

Zu deren Bestimmung ist der Belastungsverlauf aufzustellen. Dies wird rechnerisch vorgenommen, wobei zu den angegebenen Zeiten jeweils die rechtsseitigen Daten — d. h. die unmittelbar nach dem genannten Zeitpunkt gültigen Wärmeleistungen $\dot{Q}_{N,k}{}^{*}$ — addiert werden.

Die Wärme-Höchstleistung des Netzes beträgt nach Tabelle 5

$\dot{Q}_{max,N} = 54{,}122$ MW .

Sie liegt zwischen 6.00 und 7.00 Uhr an. Die Zahlenwerte der Tabelle zeigen deutlich, wie pauschale Leistungsannahmen (beispielsweise k=6 und k=7) den gesamten Tagesgang belasten, und welch großer Einfluß durch die Warmwasserbereitung hervorgerufen wird.

Im Bild 13 ist der Belastungsverlauf grafisch in Stufenform dargestellt. Er zeigt die relativ gute Ausgeglichenheit des Tagesganges.

Im Vergleich zur ermittelten Wärme-Höchstleistung sollen die in der Aufgabenstellung gegebenen Anschlußwerte addiert werden. Es gilt:

$$\sum_{k=1}^{12} \dot{Q}_{An,k} = (3000 \cdot 5{,}5 + 4200 \cdot 5{,}2 + 9517 + 5 \cdot 920 + 7 \cdot 430 + 1800 + 1200 + 493 + 700 + 2 \cdot 800 + 2 \cdot 510 + 520)\ \text{kW} = 62{,}800\ \text{MW}\,.$$

Das Verhältnis der Wärme-Höchstleistung zur Summe der Anschlußwerte ergibt 0,86, d. h., infolge der genauen Analyse war eine Reduzierung der erforderlichen Leistung an der Einspeisestelle um 14 Prozent möglich. Der Faktor 0,86 stellt übrigens das Produkt aus dem Gleichzeitigkeitsfaktor des Wärmenetzes g_N und einem mittleren Ausnutzungsgrad der Gesamtheit aller Abnehmer $a_{A,mittel}$ dar.

Gesamtwärmeleistung des Wärmenetzes

Zur Wärme-Höchstleistung sind noch die Netzverluste zu addieren. Dies erfolgt im vorliegenden Beispiel pauschal nach Gl. (5) unter Verwendung des Faktors Gl. (44) $\varphi_N = 1{,}03$. Es gilt:

$\dot{Q}_{ges,N} = 1{,}03 \cdot 54{,}122$ MW $= 55{,}75$ MW .

Gesamtmassenstrom des Wärmenetzes bei Auslegung

Für die hydraulische Bemessung des Rohrleitungssystems sollen gemäß Abschnitt 2. die maximalen Massenströme der Abnehmer bei zeitgleicher Belastung zugrunde gelegt werden. Damit ergibt sich nach Gl. (45) ein Gesamtmassenstrom an der Einspeisestelle von:

$$\dot{m}_{ges,N}' = (20 \cdot 2{,}88 + 30 \cdot 2{,}87 + 5 \cdot 3{,}51 + 7 \cdot 1{,}59 + 6{,}12 + 4{,}76 + 3{,}07 + 2{,}02 + 2 \cdot 2{,}72 + 2 \cdot 1{,}51 + 1{,}24)\ \text{kg/s} = 198{,}05\ \text{kg/s}\,.$$

Massenströme im Wärmenetz bei Wärme-Höchstleistung

Für thermodynamische Nachrechnungen sind die Abnehmer-Massenströme $\dot{m}_{N,j}'$, die bei maximaler Wärmeleistung auftreten, zu addieren. Diese Werte wurden bei der Betrachtung der einzelnen Abnehmerkomplexe schon bereitgestellt. Eine Ausnahme bildeten lediglich die Schulen, da noch nicht die Zeit der Wärme-Höchstleistung bekannt war. Im Zeitraum von 6.00 bis 7.00 Uhr wird das Schulgebäude aufgeheizt, die Wärmeleistung ist höher als der Normalwert. Dies muß aber zu Lasten der Rücklauftemperatur gehen, da durch den Mengenbegrenzer $\dot{m}_N$ nicht überschritten werden kann. Damit gilt zur betrachteten Zeit $\dot{m}_{N,j=51...55} = \dot{m}_N = 3{,}51$ kg/s. Nach Gl. (46) ergibt sich:

$$\dot{m}_{ges,N}' = (20 \cdot 2{,}82 + 30 \cdot 2{,}84 + 5 \cdot 3{,}51 + 7 \cdot 1{,}59 + 6{,}12 + 4{,}76 + 0{,}67 + 2{,}02 + 2 \cdot 2{,}72 + 2 \cdot 0{,}96 + 1{,}24)\ \text{kg/s} = 192{,}45\ \text{kg/s}\,.$$

Überschlägliche Rücklauftemperatur

Ausgehend von der Gesamtwärmeleistung $\dot{Q}_{ges,N}$ und dem tatsächlichen Höchstwert des Massenstroms $\dot{m}_{ges,N}'$, folgt nach Gl. (47) die Rücklauftemperatur an der Einspeisestelle zu

$$t_{R,E} = 130\ °\text{C} - \frac{55{,}75 \cdot 10^6}{4200 \cdot 192{,}45}\ \text{K} = 61\ °\text{C}\,.$$

Der im Vergleich zu den Rücklauftemperaturen der Gebäudeheizungen niedrige Wert wird vor allem durch die nachgeschalteten Warmwasserbereitungssysteme hervorgerufen.

Die Berechnung von $t_{R,E}$ enthält eine kleine Unkorrektheit, da die Vorlauftemperatur an der Einspeisestelle $t_{V,E}$ ebenso mit 130 °C angesetzt wurde, wie dies am Eintritt der Abnehmer erfolgte. Die Ursache liegt in der pauschalen, abschließenden Berücksichtigung der Wärmeverluste. Da die ermittelte Rücklauftemperatur infolge der zahlreichen Annahmen ohnehin nur eine erste Näherung darstellt, ist die begangene Vereinfachung völlig bedeutungslos.

3.2. Schlußfolgerungen

Aus den Einzelbetrachtungen und den durchgerechneten Beispielen wurde deutlich, daß bei der Ermittlung der Wärme- und Massenströme nie die Exaktheit wie bei der Bemessung eines technischen Aggregats oder gar der Lösung einer Mathematikaufgabe erreichbar ist. Es überlagern sich beispielsweise zufällige Ereignisse relativ geringer Zahl, so daß auch mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Regel nur Ergebnisse mit sehr großen Streubereichen folgen. Da man dennoch nicht einfach die Summe aller Anschlußwerte addieren darf, sondern im volkswirtschaftlichen Interesse eine möglichst starke Reduzierung vornehmen sollte, ist den nachfolgenden Punkten besondere Beachtung zu schenken.

Technisches Niveau der Anlagen

Ursächliche Voraussetzung für eine geringe Leistungsaufnahme der Wärmeverbraucher ist ein gutes technisches Niveau der Anlagen.

Dazu gehören beispielsweise die exakte Auslegung der Anlage, die individuelle Regelung der Einzelabnehmer, die Aufteilung der Anlage in Abnehmergruppen mit gleicher Betriebscharakteristik, der Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen, eine möglichst intensive Auskühlung des Rücklaufs, die Einschränkung des Außenluftanteils bei niedrigen Temperaturen, der Einbau von Leistungs- oder Mengenbegrenzern und bei größeren Abnehmern die komplexe Regelung und Steuerung mit den Mitteln der Gebäudeautomation.

Qualität der Angaben

Generell sollten keine Pauschal-Anschlußwerte genannt werden. Im Komplexbeispiel ist es augenscheinlich, wie diese Angaben den Belastungsverlauf durchweg belasten. Deshalb sind die Leistungsangaben in den Projekten mit größter Sorgfalt zu treffen und die Betriebsweise festzulegen, so daß für jedes Objekt eine individuelle Abnehmercharakteristik $(Q(\tau);\ \dot{m}(\tau))$ gegeben werden kann. Der Projektant des Wärmenetzes sollte unbedingt auf den genannten detaillierten Angaben bestehen und somit auch evtl. nachträgliche Präzisierungen der Projektwerte der anzuschließenden Objekte fordern.

Verantwortungsbewußter Verbrauch

Die erforderlichen Leistungen sind auf die notwendige Größe zu begrenzen. Sofern dies nicht durch entsprechende Tarife stimuliert wird, ist an das Verantwortungsbewußtsein der Nutzer zu appellieren, sparsam und überlegt Energie zu entnehmen. Hierzu gehört beispielsweise auch das Abschalten der Heizungsanlagen bereits vor dem Ende der Benutzungszeit von Gebäuden oder Räumen. Die entsprechende Zeitdifferenz richtet sich nach dem Speichervermögen des jeweiligen Objektes.

Bemessungsverfahren

Es sollte keinesfalls das Ziel sein, alle Reserven in der bisherigen Rechnung durch neuere Bemessungsverfahren grundsätzlich zu liquidieren. Vielmehr wurde vorgeschlagen, die hydraulische Netzbemessung unter Zugrundelegung der maximalen Massenströme vorzunehmen, die Wärme-Höchstleistung des Wärmenetzes dagegen auf den erforderlichen Mindestwert zu beschränken. Diese zunächst konträr wirkenden Festlegungen wurden im Abschnitt 2. begründet. Die Hauptargumente sind: Die ohnehin aufwendige Netzbemessung nicht noch weiter zu komplizieren (es wäre sonst eine Vielzahl von möglichen Massenstromverteilungen zu betrachten) und bei evtl. Veränderungen der Bebauungskonzeption bzw. für geringfügige Erweiterungen zumindest in den Haupttrassen Reserven zu haben, so daß erneuter Tiefbauaufwand im fertiggestellten Versorgungsgebiet weitgehend vermieden wird.

Die Ermittlung der Gesamtwärmeleistung ist wegen der außerordentlich hohen Investitionen für die Wärmebereitstellung möglichst genau vorzunehmen. Geringfügige Leistungserhöhungen sind — wie die bisherige Praxis zeigte — in der Regel beispielsweise durch veränderte Betriebsregime oder Restriktionen im Abnehmerbereich abzufangen. Erfolgt später eine Vergrößerung des Versorgungsgebietes, so muß die Wärmebereitstellungsanlage ohnehin erweitert werden. Dies ist kein Nachteil, da aus volkswirtschaftlichen Gründen große Anlagen sowieso in nutzungsfähige Teilabschnitte zu untergliedern und diese zeitlich versetzt zu errichten sind.

Zur Präzisierung der Wärme-Höchstleistung von Wohngebieten müssen vor allem die Einschaltwahrscheinlichkeiten der Heizflächen raum- und bautenbezogen ermittelt und die Warmwasser-Verbrauchskurven objektbezogen gemessen sowie beide Aussagen statistisch gesichert werden. Die Ergebnisse stellen die Eingangsgröße für die wahrscheinlichkeits-theoretischen Modelle — die vorhanden sind — dar. Weitere Untersuchungen sollten der Spitzenlastsenkung durch Einbeziehen der Netzspeicherung gewidmet werden.

Risikobereitschaft

Um die Wärme-Höchstleistungen und damit die Investitionen zu senken, müssen alle, d. h. Auftraggeber, Projektant, Betreiber und Nutzer, verantwortungsbewußt handeln. Das beginnt bei einer exakten Planung sowie am Festhalten der Bebauungskonzeption und endet bei der detaillierten Festlegung von Nutzungsgruppen in den Gebäuden, von Betriebsregimen u. a. m. Weiterhin sollten auch von den Betreibern, die die spezifischen Eigenschaften der Gebäudetypen und die speziellen Nutzungsgewohnheiten aus ihrer Erfahrung am besten kennen, entsprechende Hinweise über Verbrauchswerte, Betriebscharakteristiken und mögliche Restriktionen in die Aufgabenstellung des Investitionsauftraggebers einbezogen werden. Denn das Risiko bzgl. der Lastannahmen ist von allen Partnern zu tragen. Die Interpretation der derzeitigen Investitionsgesetzgebung läßt die Projektanten sehr oft zum „Prügelknaben" werden, wodurch deren Risikobereitschaft stark vermindert wird. Dies führt aber häufig zur Überbemessung der Anlagen.

Operative Maßnahmen

Es liegt im volkswirtschaftlichen Interesse, wenn bei der Ermittlung der Wärme-Höchstleistung eines Netzes der eingeschränkte Betrieb einiger besonderer Objekte eingeplant wird. Diese haben dann operativ die „Vollbeheizung" auf eine „Frostfreiheizung" zu reduzieren. So müßte es beispielsweise zu vertreten sein, wenn bei einer Außentemperatur von −16 °C eine Theatervorstellung oder eine Sportveranstaltung ausfallen. Das Einbeziehen geplanter operativer Maßnahmen in die zu treffenden Lastannahmen für die Bemessung ist vom Auftraggeber in Zusammenarbeit mit dem Betreiber, Nutzer und Projektanten festzulegen.

Literatur

/1/ *Mühlmann:* Theoretische Bestimmung von Gleichzeitigkeitsfaktoren. (Forschungsbericht für ITGA, unveröffentlicht)

/2/ *Glück:* Bausteine zur rationellen Projektierung von Wasserheizungssystemen. VEB Kombinat TGA — Institut — 1976

/3/ *Glück:* Bemerkungen zum Diskussionsbeitrag von Dipl.-Ing. *Schatte.* *„Stadt- und Gebäudetechnik"* 34 (1980) H. 5

/4/ *Glück/Schreiner:* Leistungsspitzen der Warmwasserbereitung in Wohngebieten. *„Stadt- und Gebäudetechnik"* 33 (1979) H. 11

/5/ *Rydberg:* Beräkning av maximala tappningseffekten for varmvattenberednings — anäggninger. V.V.S. 5, 1945

/6/ *Franzke:* Zentrale Brauchwasserversorgung — Ein Vorschlag zur Normung. *„Sanitär- und Heizungstechnik"* (1973) H. 3

/7/ DIN 4708: Zentrale Brauchwasser-Erwärmungsanlagen, Entwurf 1974

/8/ *Jahnke/Emde:* Tafeln höherer Funktionen. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1960

/9/ Kleine Enzyklopädie Mathematik. VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1968

/10/ *Smirnow/Dunin-Barkowski:* Mathematische Statistik in der Technik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1973

/11/ *Glück:* Pauschale Ermittlung der Temperaturänderungen in Wärmenetzen (erscheint in *„Stadt- und Gebäudetechnik"*)