Zur Anwendung empfohlen

Die Auslegung von Druckdiktieranlagen

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

(Fortsetzung von Heft 7/1973)

3.2. Maximale Volumenexpansion

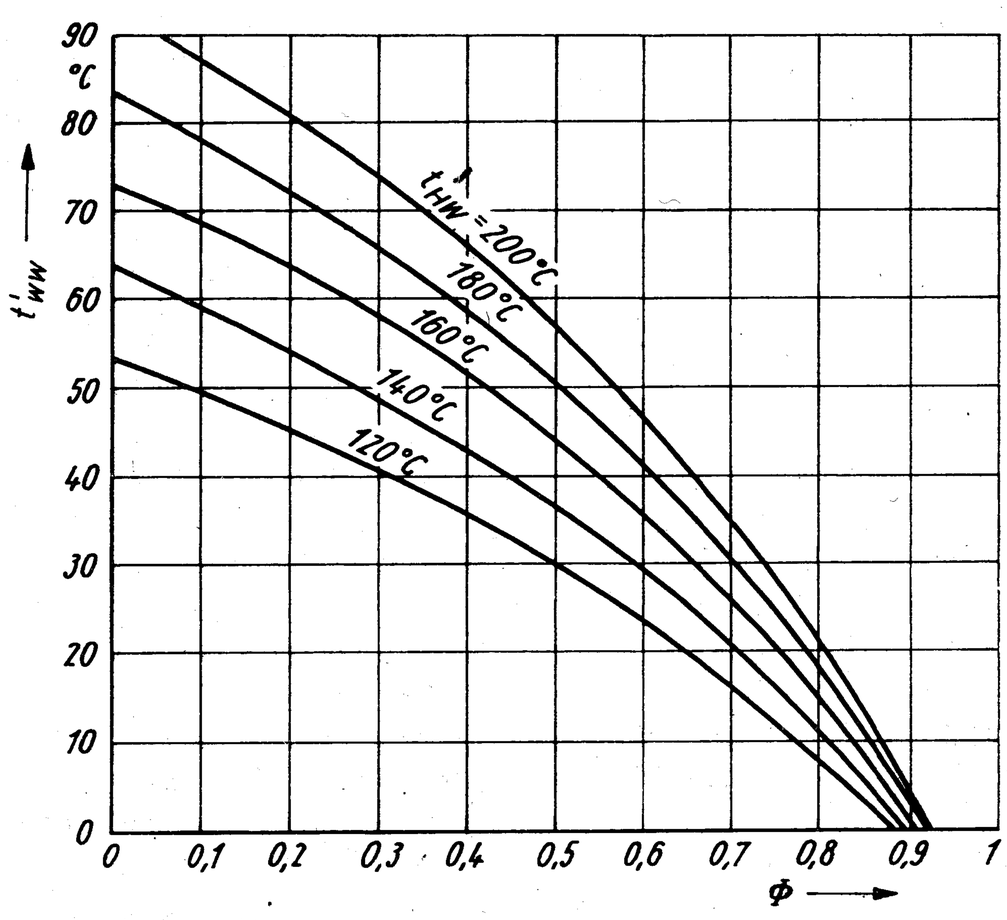
Die größte Volumenexpansion, die beim Aufheizen auftritt, errechnet sich nach Gl. (4). Gemäß früherer Erörterung wird die Wärmeabgabe gleich Null gesetzt, so daß Gl. (4) in Verbindung mit der Definition Gl. (5) die spezielle Form

$$\dot{V}_{\mathrm{Ab,max}} = \dot{m} \cdot (v_{2\mathrm{E}} - v_{1\mathrm{E}}) \tag{16}$$

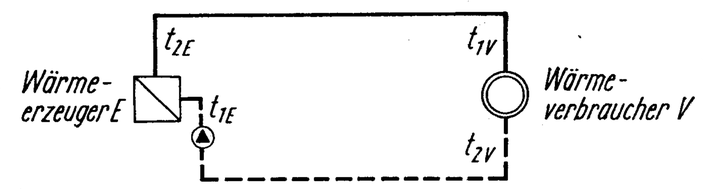
annimmt. Die maximale Heizleistung $\dot{Q}_{\max}$, die der Betrachtung zugrunde zu legen ist, kann bei Wärmeübertragern, nach [4], Bild 2, ermittelt werden. Auszugehen ist jeweils von den Vollastverhältnissen. So ergibt sich im Schnittpunkt von Betriebscharakteristik Φ^+ und $(\dot{W}_{\mathrm{WW}}/\dot{W}_{\mathrm{HW}})^+$ der Wert $(k \cdot A/\dot{W}_{\mathrm{WW}})^+$. Bei den weiteren Betrachtungen sind verschiedene Fälle zu unterscheiden:

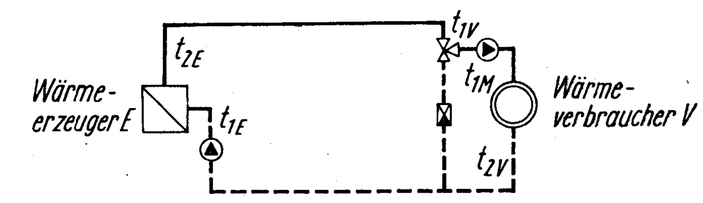
Heizflächenbeaufschlagung mit Heißwasser

Die Sekundärvorlauftemperatur wird meistens durch ein Drosselventil im Primärstromkreis geregelt. Je nach Auslegung dieses Ventils wird es möglich sein, bei voller Öffnung einen größeren Primärwasserstrom als im Vollastfall durch den Wärmeübertrager zu setzen. Diese Wassermenge ist unter Vernachlässigung aller „Sicherheitszuschläge" bei der Druckverlustberechnung für den maximal möglichen Differenzdruck des Fernheiznetzes an der Anschlußstelle zu ermitteln. Dies ist deshalb wichtig, da die früher gewährten Zuschläge zu einem schnelleren Aufheizen führen und man sich folglich bei den jetzigen Berechnungen auf die unsichere Seite begibt. Das gleiche gilt für die Heizfläche, die erfahrungsgemäß bis zu 30 Prozent Zuschlag als Folge der standardisierten Normgrößen, möglicher Verringerung der Wärmedurchgangszahl durch Steinansatz usw. enthält:
Als Rechengang ergibt sich damit: Ermittlung des minimalen $\dot{W}_{\mathrm{WW}}/\dot{W}_{\mathrm{HW}}$ durch Einsetzen des maximalen $\dot{W}_{\mathrm{HW}}$ sowie



5





Vergrößerung des für den Vollastfall ermittelten $k \cdot A/\dot{W}_{\mathrm{WW}}$, mit Kenntnis dieser Größen kann in [4], Bild 2, die neue Betriebscharakteristik Φ abgelesen werden.

Heizflächenbeaufschlagung mit Dampf

Gleichgültig ob eine Dampfmengen- oder Kondensatanstauregelung installiert ist, ergibt sich die maximale Heizleistung, wenn die Heizfläche voll beaufschlagt und die höchstmögliche Dampftemperatur vorliegt. Bezüglich der „Sicherheitszuschläge" für die Wärmedurchgangszahl bzw. die Heizfläche gilt das oben gesagte.

Es ist folgender Rechengang zu wählen: Das Verhältnis der Wasserwerte $\dot{W}_{\mathrm{WW}}/\dot{W}_{\mathrm{HW}} = 0$ gilt bei Dampf als Heizmedium grundsätzlich, so daß nur der für den Vollastfall ermittelte Wert $(k \cdot A/\dot{W}_{\mathrm{WW}})^+$ entsprechend zu erhöhen und aus vorgenanntem Diagramm Φ abzulesen ist.

Diese Berechnung gilt nur für den Kondensationsteil. Evtl. Heißdampfkühlung oder Kondensatunterkühlung müßte wie heißwasserbeaufschlagte Heizflächen berechnet werden. Der Aufwand dürfte dem Effekt jedoch nicht entsprechen, deshalb wird eine prozentuale Berücksichtigung zur Kondensationswärmemenge empfohlen.

Den in Gl. (16) einzusetzenden Maximalwert $(v_{2\mathrm{E}} - v_{1\mathrm{E}})$ zu ermitteln, ist nicht einfach, da das spezifische Volumen des Vorlaufs eine Funktion der Austrittstemperatur des Wärmeübertragers t''_{WW} und das spezifische Volumen des Rücklaufs $v_{1\mathrm{E}}$ eine Funktion der Eintrittstemperatur t'_{WW} darstellen. Die Temperaturdifferenz $t''_{\mathrm{WW}} - t'_{\mathrm{WW}}$ errechnet sich aus

$$t''_{\mathrm{WW}} - t'_{\mathrm{WW}} = \Phi \cdot (t'_{\mathrm{HW}} - t'_{\mathrm{WW}}) , \tag{17}$$

wobei diese von der gewählten Eintrittstemperatur t'_{WW} abhängt. Die Kompliziertheit würde perfekt, wenn man berücksichtigte, daß die Umwälzpumpe stets konstanten Volumenstrom und damit einen von $v_{1\mathrm{E}}$ abhängigen Massenstrom — bei Anordnung der Pumpe im Rücklauf — fördert. Letzteres soll jedoch bei einem geringen Fehler — maximal 3 Prozent — vernachlässigt werden. Dies bedeutet, daß die in Gl. (16) gegebene Differenz $(v_{2\mathrm{E}} - v_{1\mathrm{E}})$ maximiert wird. Es gilt nach Gl. (7)

$$v_{2\mathrm{E}} - v_{1\mathrm{E}} = 0{,}000099 \cdot \left(t''_{\mathrm{WW}} - t'_{\mathrm{WW}}\right) + 0{,}00000344 \cdot \left(t''^{\,2}_{\mathrm{WW}} - t'^{\,2}_{\mathrm{WW}}\right) , \tag{18}$$

woraus nach Substitution von t''_{WW} — entsprechend G. (17) — die Ableitung nach t'_{WW}

$$\frac{d\,(v_{2\mathrm{E}} - v_{1\mathrm{E}})}{dt'_{\mathrm{WW}}} = -\,0{,}000099 \cdot \Phi + 0{,}0000034\,4 \cdot \{2\,[(1-\Phi)\,t'_{\mathrm{WW}} + \Phi \cdot t'_{\mathrm{HW}}] \cdot (1-\Phi) - 2 \cdot t'_{\mathrm{WW}}\} = 0 \tag{19}$$

gebildet und gleich Null gesetzt wird. Nach kurzer Umrechnung folgt die anzunehmende Wassereintrittstemperatur, bei der die maximale Volumenexpansion auftritt, zu

$$t'_{\mathrm{WW}} = [14.4 + (\Phi - 1) \cdot t'_{\mathrm{HW}}] \cdot \frac{1}{\Phi - 2} . \tag{20}$$

Die Auswertung dieses Zusammenhangs ist aus Bild 5 ersichtlich.

3.3. Volumenänderungen bei Laständerungen und Abfahrvorgängen

Die Untersuchungen erfolgen getrennt für Netze mit Abnehmern, die direkt in den Heizstromkreis entsprechend Bild 6 eingebunden sind, und für Netze mit Abnehmern, die über eine Beimischstation im Nebenstromkreis nach Bild 7 angeschlossen werden. Beide Bilder stellen nur Prinzipschaltungen dar.

Im ersten Fall des Abnehmeranschlusses direkt im Heizstromkreis können die Zu- und Abspeisemengen, die bei Laständerungen sowie bei Abfahrvorgängen auftreten, nach Gl. (4) errechnet werden.

Betrachtet man nur den Wärmeerzeuger E und den Wärmeverbraucher V, so gilt

$$\dot{V} = -\dot{m}\,[(v_{2E} - v_{1E}) + (v_{2V} - v_{1V})]\,. \tag{21}$$

Der zeitliche Verlauf — wie er beispielsweise beim Abfahren des Netzes auftritt — ist in Bild 8 gezeigt. Eine Veränderung des spezifischen Volumens am Austritt des Wärmeübertragers wird im Verbraucherschwerpunkt erst nach der Zeit

$$\Delta\tau = \frac{V}{2\cdot\dot{m}\cdot v}\,, \tag{22}$$

wobei V — Netzinhalt, $\dot{m}$ — umgewälzter Massenstrom und v — spezifisches Volumen am Einsatzort der Umwälzpumpe bedeuten, wirksam. Dadurch sind die Kurven v_{2E} und v_{1V} um $\Delta\tau$ verschoben. Als Näherung wird angenommen, daß die Parameteränderung am Verbrauchereintritt momentan zur Parameteränderung am Verbraucheraustritt führt. Diese wird letztlich wieder nach dem Zeitintervall $\Delta\tau$ am Erzeugereintritt wirksam, woraus die Verschiebung der Kurven v_{2V} und v_{1E} resultiert. Die Schwierigkeit der Auswertung von Gl. (21) liegt in der Berechnung der Änderung des spezifischen Volumens am Verbraucheraustritt v_{2V} als Funktion der Änderung v_{1V}. Für den häufigsten Auslegungsfall eines Heiznetzes 110/70 °C und 90/70 °C sind die zu jedem v_{1V} gehörigen v_{2V} aus Bild 9 ablesbar. Ein derartiges Diagramm kann aufgestellt werden, wenn zu jeder Eintrittstemperatur eine eindeutig definierte Austrittstemperatur gehört. Dies ist für die üblichen Raumheizflächen, deren Auslegungsdaten bekannt sind, entsprechend Bild 9 möglich. Würden als Abnehmer Wärmeübertrager installiert, die die Gebäudeheizung indirekt anschließen, so sind derartige Diagramme $v_{2V} = f\,(v_{1V})$ entsprechend des gewählten Regelungsregimes und der vorliegenden Auslegungsdaten aufzustellen. Als Hilfsmittel für diese speziellen Fälle kann [4] dienen.

Die in Bild 9 gewählte Abszisse bietet den Vorteil, daß bei linearem Temperaturabfall der Außentemperatur t_a über der Zeit die Abszissenwerte durch eine Zeitkoordinate in ebenfalls linearer Teilung ersetzt werden können (vgl. Beispiel 1).

Im zweiten Fall des Abnehmeranschlusses über eine Beimischstation im Nebenstromkreis können die Zu- und Abspeisemengen infolge von Laständerungen nach

$$\dot{V} = -\dot{m}\,[(v_{2E} - v_{1E}) + (v_{2V} - v_{1V})] - \frac{dV_B}{d\tau} \tag{23}$$

berechnet werden. Die Ergänzung der Gl. (4) um den letzten Term ist erforderlich, da durch die Beimischung stets eine bestimmte Wassermenge im Sekundärkreis zirkuliert. Diese Wassermenge erfährt bei Laständerungen ebenfalls eine Volumenänderung, die als Mittelwert erfaßt wird.

Der Beimischstrom $\dot{m}_B$ errechnet sich aus einer Enthalpiebilanz

$$\dot{m}_B = (\dot{m}_V - \dot{m}_P) = \dot{m}_V\cdot\left(1 - \frac{\Delta t_V}{\Delta t_P}\right)\,, \tag{24}$$

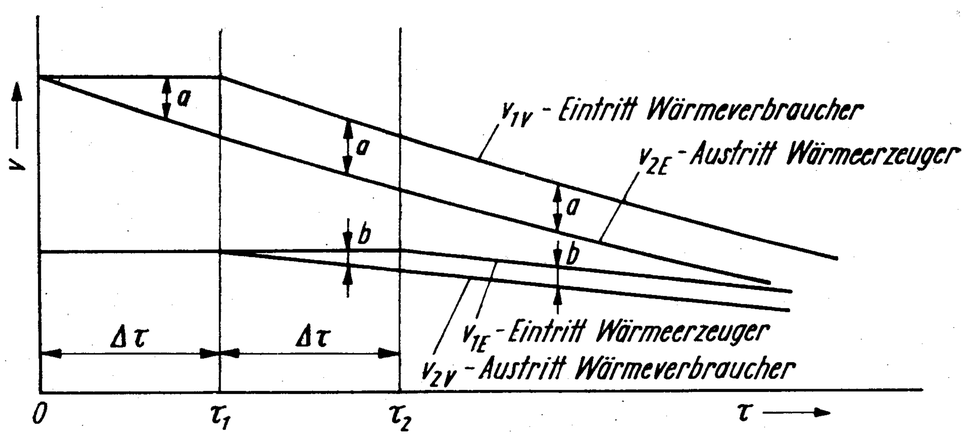
dabei bedeuten: $\dot{m}_V$ — Sekundärwasserstrom (Durchflußmenge des Verbrauchers), $\dot{m}_P$ — Primärwasserstrom, Δt_V — Temperaturdifferenz des Sekundärmediums am Verbraucher und Δt_P — Temperaturdifferenz des Primärmediums. Entsprechend der errechneten Mengenströme ist das Anlagenvolumen des Verbrauchers V_V aufzuteilen, so daß die Volumenanteile

$$V_B = V_V\cdot\left(1 - \frac{\Delta t_V}{\Delta t_P}\right) = m_B\cdot\bar{v}_V \tag{25}$$

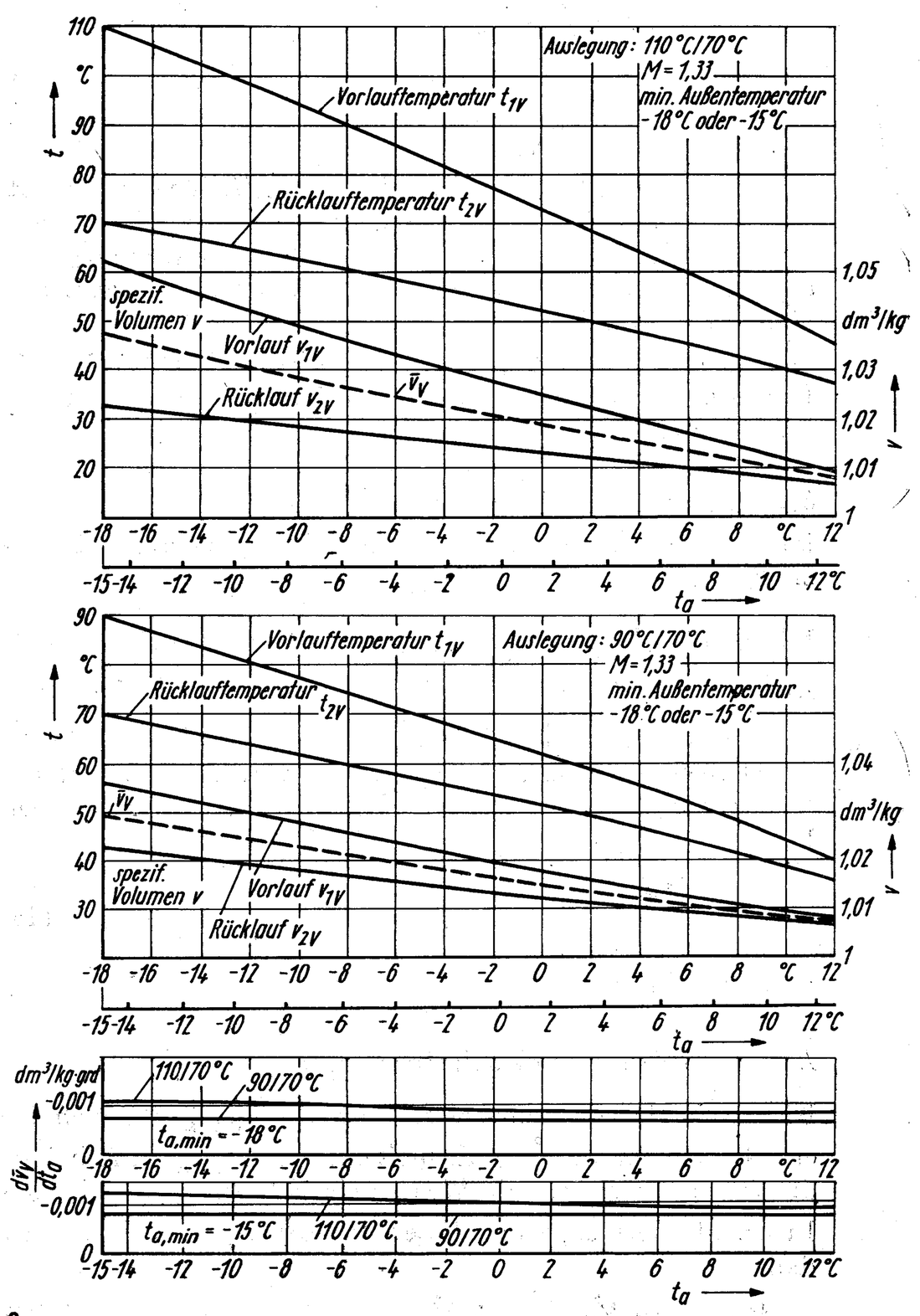
und

$$V_P = V_V\cdot\frac{\Delta t_V}{\Delta t_P} \tag{26}$$

entstehen. Das in Gl. (22) einzusetzende Volumen V stellt sich damit als Summe des Volumens des Fernheiznetzes und des Volumens V_P dar. Der zweite Term in Gl. (23) kann



8



9

durch Substitution der Gl. (25) in

$$\frac{dV_B}{d\tau} = m_B \cdot \frac{d\bar{v}_V}{d\tau} = m_B \cdot \frac{d\bar{v}_V}{dt_a} \cdot \frac{dt_a}{d\tau} = m_B \cdot \frac{d\bar{v}_V}{dt_{1V}} \cdot \frac{dt_{1V}}{d\tau} \quad (27)$$

überführt werden. Der Differentialquotient $d\bar{v}_V/d\tau$ stellt dabei die mittlere Änderung des spezifischen Volumens im Sekundärkreis $\bar{v}_V$ nach der Zeit dar. Das mittlere spezifische Volumen und dessen Anstieg sind in Bild 9 für die üblichen Anlagenspreizungen aufgetragen.

Der zeitliche Verlauf der spezifischen Volumina an den Wärmeerzeuger- und -verbraucherein- sowie -austrittstellen kann nicht ohne weiteres aus Bild 8 übernommen werden, sondern ist je nach vorhandenem Regelungsregime zu entwickeln. Legt man beispielsweise ein gleitend gefahrenes Primärnetz zu Grunde, so nehmen die Außentemperaturfühler des Wärmeerzeugers und der Beimischstation die Störgrößenänderungen gleichzeitig wahr, so daß der prinzipielle Verlauf entsprechend Bild 10 entsteht (vgl. Beispiel 2). Die Verringerung des Massenstromes $\dot{m}$ in Gl. (23) — wie sie bei Laständerungen auftritt — sollte bei der vorgenannten Kontrollrechnung nicht berücksichtigt werden, sondern als Zuschlag dienen.

Die Zuspeisemengen, die bei Abfahrvorgängen erforderlich werden, sind ebenfalls vom vorhandenen Regelungsregime abhängig. Haben die Beimischstationen eine außentemperaturabhängige Regelung und eine Mengenbegrenzung, die bei Vollast gerade erreicht wird, so wird beim Abfahren des Primärvorlaufs die maximal mögliche Entnahme aus dem Primärnetz erfolgen. Zu jeder angebotenen Primärvorlauftemperatur t_{1V} sind nunmehr die Mischtemperatur am Endverbrauchereintritt t_{1M} und die Austrittstemperatur t_{2V} zu errechnen. Da dies nur iterativ möglich ist, sollte man die Umkehrfunktion, entwickelt aus Gl. (24)

$$t_{1V} = \frac{t_{1M} - \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_V} \cdot t_{2V}}{1 - \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_V}} \quad (28)$$

bilden. Das konstante Verhältnis $\dot{m}_B/\dot{m}_V$ ist für den Vollastfall nach Gl. (24) zu bestimmen. Ausgehend von Bild 9 läßt sich mit Gl. (28) das zu den Sekundärtemperaturen t_{1M} und t_{2V} gehörige t_{1V} errechnen und das entsprechende spezifische Volumen v_{1V} zuordnen,

Bei dem vorgenannten Regelungsregime entsteht beim Abheizen der in Bild 8 dargestellte Verlauf der spezifischen Volumina (vgl. Beispiel 2).

3.4. *Praktische Auslegung*

Mit den errechneten Werten können die Anlagenteile dimensioniert werden.

Dimensionierung der Zu- und Abspeiseleitung

Auf der Grundlage der maximalen Zu- und Abspeiseströme ($\dot{V}_{Zu,max}$, $\dot{V}_{Ab,max}$) werden die Leitungen bemessen und die Druckverluste Δp_{Zu} und Δp_{Ab} berechnet. Für die weiteren Betrachtungen ist es zweckmäßig, den auf 1 m³/h bezogenen Druckabfall

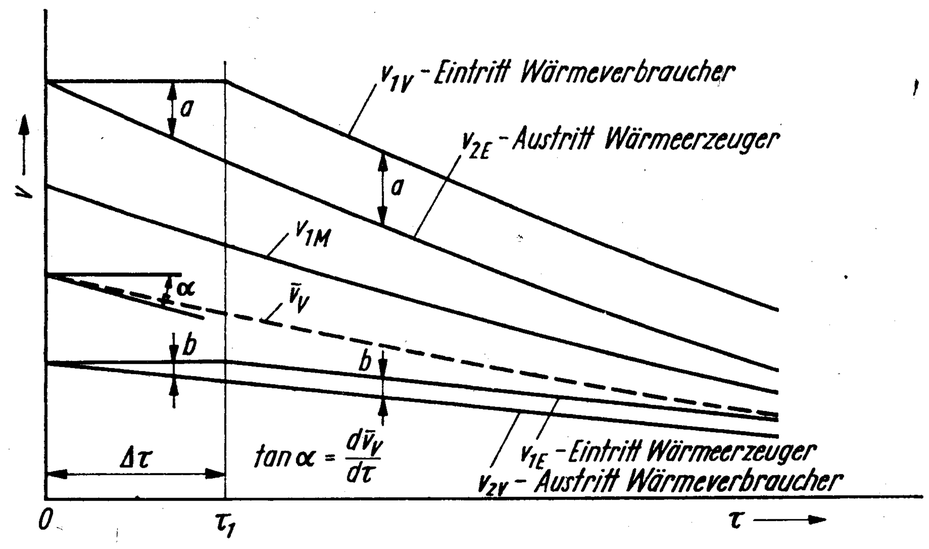
$$C = \frac{\Delta p}{\dot{V}^2} \quad (29)$$

zu ermitteln.

Auswahl der Druckdiktierpumpe

Die maximale Fördermenge der Pumpe $\dot{V}_{P,max}$ ist gleich der errechneten maximalen Zuspeisemenge $\dot{V}_{Zu,max}$. Arbeiten die Überströmregler mit Wasser als Hilfsenergie, so ist die Pumpenfördermenge um diesen Betrag $\dot{V}_H$ zu erhöhen, so daß

$$\dot{V}_{P,max} = \dot{V}_{Zu,max} + \dot{V}_H \quad (30)$$



10

gilt. Da die Umwälzpumpen bei maximal notwendiger Zuspeisung außer Betrieb sind, ist der Einspeisedruck entsprechend niedrig. Der Pumpendruck beträgt

$$\Delta p'_P = C_{Zu} \cdot \dot{V}^2_{P,max} - H_{Zu} \cdot \varrho \cdot g + \Delta p_{E,min}, \quad (31)$$

wobei H_{Zu} die Höhendifferenz zwischen dem Wasserspiegel des Ausdehnungsgefäßes und der Höhe der Einspeiseleitung ins Netz und $\Delta p_{E,min}$ den Einspeisedruck an der Netzanschlußstelle charakterisieren.

Bei diesen Betrachtungen wurde gemäß der ersten Festlegung angenommen, daß der Überströmregler vollkommen geschlossen ist, d. h. $\dot{V}_Ü = 0$.

Bei der Pumpenauswahl ist außer dem Betriebspunkt, der durch die mit Gl. (30) und (31) ermittelten Werte gegeben ist, noch der Betriebspunkt, der sich bei maximaler, witterungsbedingter Laständerung ergeben kann, zu berücksichtigen. Nach Abschnitt 3.3. wird die notwendige Zuspeisemenge $\dot{V}_{Zu}$ berechnet, die der dritten Festlegung entspricht. Zusätzlich muß die Druckdiktierpumpe den minimal notwendigen Abspeisestrom $\dot{V}_{Ü,min}$, der durch die Eigenschaften des Regelventils gegeben ist, fördern, so daß

$$\dot{V}_{P,min} = \dot{V}_{Zu} + \dot{V}_{Ü,min} + \dot{V}_H \quad (32)$$

gilt. Der zugehörige Pumpendruck beträgt dann

$$\Delta p''_P = C_{Zu} \cdot \dot{V}^2_{P,min} - H_{Zu} \cdot \varrho \cdot g + \Delta p_{E,max}. \quad (33)$$

Die Berechnung der minimalen Abströmmenge $\dot{V}_{Ü,min}$ über den Regler ist von dessen maximaler Leistung $\dot{V}_{Ü,max}$ abhängig. Letztere folgt jedoch wieder aus dem minimalen Pumpenförderstrom $\dot{V}_{P,min}$. Diese Verknüpfung durch Substitution von Gleichungen zu lösen, hat praktisch keinen Sinn, da ohnehin nur standardisierte Aggregate verwendbar sind. Deshalb wird man zunächst die Gl. (32) und (33) für $\dot{V}_{Ü,min} = 0$ auswerten. Während der erste Betriebspunkt nach Gl. (30) und (31) möglichst auf der Pumpenkennlinie liegen sollte, muß der nach Gl. (32) und (33) für $\dot{V}_{Ü,min} = 0$ darunter liegen.

Auswahl des Überströmreglers

Die Druckdifferenz zwischen Rücklaufsammler — der Einbindestelle der Abspeiseleitung — und dem Atmosphärendruck — dem Gegendruck nach dem Überströmregler — sei mit Δp_A bezeichnet. Im Gleichgewicht dazu steht die Summe aus dem Druckverlust durch Rohrreibung $C_{Ab} \cdot \dot{V}^2_Ü$, dem geodätischen Höhenunterschied zwischen Überströmregler und Rücklaufsammler $H_{Ab} \cdot \varrho \cdot g$ und dem Druckabfall über dem Regler $k_V^{-2} \cdot \dot{V}^2_Ü$. Es gilt:

$$\Delta p_A = C_{Ab} \cdot \dot{V}^2_Ü + H_{Ab} \cdot \varrho \cdot g + k_V^{-2} \cdot \dot{V}^2_Ü. \quad (34)$$

Um den Überströmregler auszuwählen, muß der maximale k_V-Wert errechnet werden. Der ungünstigste Betriebsfall

liegt in der Regel beim Aufheizen vor. Die maximale Überströmmenge errechnet sich aus

$$\dot{V}_{Ü,max} = \dot{V}_{Ab,max} + \dot{V}_{P,min} - \dot{V}_H, \tag{35}$$

wobei $\dot{V}_{Ab,max}$ den errechneten maximalen Abspeisestrom und $\dot{V}_{P,min}$ den minimalen Pumpenförderstrom bei höchstem Einspeisedruck darstellen. Letzterer ergibt sich im Schnittpunkt der Kurve nach Gl. (33) mit der ausgewählten Pumpenkennlinie. Es ist zweckmäßig, dies grafisch durchzuführen.

Des weiteren sei noch auf die veränderliche Höhe H_{Zu} verwiesen. Sie ist infolge von Wasserspiegelschwankungen im Ausdehnungsgefäß beim Aufheizen am kleinsten und beim Abheizen am größten. Mit Kenntnis von $\dot{V}_{Ü,max}$ folgt aus Gl. (34) sofort

$$k_{V,max} = \frac{\dot{V}_{Ü,max}}{\sqrt{\Delta p_{A,min} - C_{Ab} \cdot \dot{V}^2_{Ü,max} - H_{Ab} \cdot \varrho \cdot g}}. \tag{36}$$

Ist die maximale Pumpenfördermenge $\dot{V}_{P,max}$ größer als die nach Gl. (35) ermittelte Überströmmenge $\dot{V}_{Ü,max}$, so sind in Gl. (36) die sich bei abgeschalteten Umwälzpumpen einstellenden Verhältnisse (d. h. $\dot{V}_{P,max}$, $\Delta p_{A,max}$) einzusetzen. Der größte $k_{V,max}$-Wert ist für die Auswahl des Überströmreglers zu verwenden. Der nächstgrößere standardisierte Wert $k_{VS,max}$ sollte gewählt werden.

Nachrechnung

Der Arbeitsbereich des Überströmreglers wird durch das sogenannte Stellverhältnis

$$r = \frac{k_{VS,max}}{k_{VS,min}} \tag{37}$$

charakterisiert. Es ist vom Hersteller zu erfragen. Für die verschiedenen Betriebsfälle kann der vorhandene kleinste k_V-Wert errechnet werden. Er sollte stets größer als $k_{VS,min}$ sein. Das im Zusammenhang mit Gl. (35) ermittelte $\dot{V}_{P,min}$ in Gl. (32) eingesetzt, liefert für die möglichen Laständerungen und Abheizvorgänge die Überströmmenge $\dot{V}_{Ü,min}$. Diese Menge in Gl. (34) substituiert, ergibt analog Gl. (36) $k_{V,min}$.

Umgekehrt kann unter Vorgabe von $k_{VS,min}$ die notwendige Überströmmenge bei Stillstand der Umwälzpumpen nach Gl. (34) errechnet und für den Havariefall „Stillstand des aufgeheizten Netzes" die Zeitdifferenz bestimmt werden, die der Regler bei einem $k_V < k_{VS,min}$, d. h. außerhalb des vorgegebenen Bereiches, abarbeiten muß. *(Wird fortgesetzt)*