Wahl der Ansprechdrücke und Einbauorte von Sicherheitsventilen in Wärmenetzen des Abnehmerbereichs bei vorgegebenen Druckgrenzen

Dr. sc. techn. Bernd GLÜCK
VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung – Institut –

Häufig wird die Arbeitsweise der Sicherheitsventile ungenügend beachtet, so daß vorgegebene Druck-Grenzwerte nicht einhaltbar sind. Weiterhin werden die Druck-Grenzwerte nicht unter einheitlichen Gesichtspunkten ermittelt. Vor allem werden vielfach die Druckverläufe in den Wärmenetzen nicht ausreichend berücksichtigt.

Arbeitsweise der Sicherheitsventile

Die Sicherheitsventile öffnen beim Ansprechdruck p_A, der Abspeisevorgang beginnt. Der volle Hub des Kegels wird erst beim maximalen Öffnungsdruck $p_{Öff}$ erzielt. Die Abströmung erreicht ihren Höchstwert. Aufgrund einer Hysterese bleibt das Sicherheitsventil auch noch voll geöffnet, wenn der Druck sinkt. Erst nach Unterschreiten des Ansprechdrucks wird der Schließvorgang eingeleitet. Er endet beim sogenannten Schließdruck p_{Sch}. Der Betriebsdruck p der Anlage muß auf jeden Fall darunter liegen. Eine mögliche Variante des Druck-Zeit-Verlaufs ist im Bild 1, zwei spezielle Hub-Druck-Verläufe sind im Bild 2 dargestellt.

Es gelten die Bezeichnungen

Öffnungsdruckdifferenz $\Delta p_{Öff} = p_{Öff} - p_A$ (1)

Schließdruckdifferenz $\Delta p_{Sch} = p_A - p_{Sch}$. (2)

Diese Größen werden in der AV 1–6/80 in Prozent vom Ansprechüberdruck in Form von Maximalwerten angegeben. Es gelten für die

Öffnungsdruckdifferenz
15 Prozent bei Drücken bis 0,25 MPa
10 Prozent bei Drücken bis 4 MPa

Schließdruckdifferenz
10 Prozent bei Hoch- und Vollhub-Sicherheitsventilen
15 Prozent bei Niederhub-Sicherheitsventilen.

Vielfach werden vom Hersteller typbezogen kleinere Werte angegeben. So betragen die Schließbereiche beispielsweise für einige Importventile (Proportional- und Vollhub-Sicherheitsventile) fünf bis sieben Prozent.

Die tatsächlichen Betriebsdrücke sollten jedoch unter dem Schließdruck liegen

$$p < p_A - \Delta p_{Sch}. \quad (3)$$

Es wird mitunter auch eine Arbeitsdruckdifferenz

$$\Delta p_A = p_A - p \quad (4)$$

definiert. Damit kann die in Gl. (3) getroffene Aussage

$$\Delta p_A > \Delta p_{Sch} \quad (5)$$

geschrieben werden. Sie sollte auch für Ventile mit günstigen Schließdruckdifferenzen nicht unter zehn Prozent liegen.

Druck- und Temperatur-Grenzwerte der Wärmenetze

Bisher war es üblich, für Fernwärmenetze relativ große Sicherheitsabstände zwischen Betriebs- und Berechnungsparametern der Trassen zu wählen. Der zunehmende Netzausbau konnte daher mitunter von der früher gewährten „Großzügigkeit" zehren. Auf diese Weise waren vielfach auch nachträgliche Änderungen des Betriebsregimes möglich. Mit fortschreitendem Netzausbau, Einführen des Verbundbetriebes und den strengeren Forderungen nach effektivstem Einsatz der Investitionen wurden die Sicherheitsgrenzen auf ein Minimum reduziert. Es wurden auch Betriebszustände praktisch und theoretisch untersucht, die bewußt Ausdampfen an Hochpunkten und damit eine Zweiphasenströmung zuließen. Dies sollte aber vorerst auf große Systeme begrenzt bleiben, deren Einspeise- und Übergabestellen mit Hilfe der Steuerungs- und Regelungstechnik von Überwachungs- bzw. Dispatcherzentralen aus kontrollier- und beeinflußbar sind. Für die nachgeschalteten Abnehmernetze mit den vielfältigsten, individuell gestalteten Hausstationen sollten die konventionellen Grundsätze der Druckgestaltung (TGL 190-259/05) im Interesse der variableren Ausbaufähigkeit und des einfacheren Betriebes beibehalten werden. Dies besagt natürlich nicht, daß nach „großzügigen Faustformeln" bemessen werden sollte.

Um die oberen Betriebs-Grenzwerte für das Wärmenetz festlegen zu können, ist vom Berechnungsdruck p_B und von der Berechnungstemperatur t_B auszugehen. (Diese Werte werden vielfach auch als Konzessionsdruck, Genehmigungsdruck oder höchstzulässiger Betriebsdruck sowie Konzessionstemperatur, Genehmigungstemperatur oder höchstzulässige Betriebstemperatur bezeichnet.)

Der Ansprechdruck des Sicherheitsventils darf höchstens dem Berechnungsdruck entsprechen ($p_A \leqq p_B$). Eine kurzzeitige

Druckerhöhung bis zum völligen Öffnen des Sicherheitsventils wird nach TGL 32903/02 bei der Berechnung nicht berücksichtigt, sofern zehn Prozent des Berechnungsüberdrucks nicht überschritten werden.
Wegen der eventuell ungenauen Erfassung der Netz-Berechnungsdaten, wegen möglicherweise veränderter Nutzung der Trassen und zwecks partieller Gewährleistung einer ausreichenden Schließdruckdifferenz der installierten Sicherheitsventile sollten die maximal zulässigen Betriebswerte des Netzes $p_{max,zul}$ und $t_{max,zul}$ sicherheitshalber um die Differenzwerte Δp_{Si} bzw. Δt_{Si} unter den Berechnungswerten der Anlagenteile liegen. Es gelten:

$$p_{max,zul} = p_B - \Delta p_{Si} \quad (6)$$

$$t_{max,zul} = t_B - \Delta t_{Si}. \quad (7)$$

Gibt es keine gesetzlichen Festlegungen, sind die Zuschläge nach den genannten Gesichtspunkten zu wählen.
Für die Ermittlung der normativen maximalen Betriebsparameter p_{max} und t_{max} sind die Regelungstoleranzen Δp_{Re} und Δt_{Re} zu beachten. Spezifiziert für den Netzvorlauf gelten:

$$p_{V,max} = p_{max,zul} - \Delta p_{Re} \quad (8)$$

$$t_{V,max} = t_{max,zul} - \Delta t_{Re}. \quad (9)$$

Andererseits darf der Druck im Netz einen unteren Grenzwert nicht unterschreiten. Dieser berechnet sich aus dem Sättigungsdruck $p_S(t_{max,zul}) = p_S(t_{V,max} + \Delta t_{Re})$ und der möglichen Abweichung Δp_{Re}, die positiv und negativ auftreten kann, zu

$$p_{V,min} = p_S\,(t_{V,max} + \Delta t_{Re}) + \Delta p_{Re}. \quad (10)$$

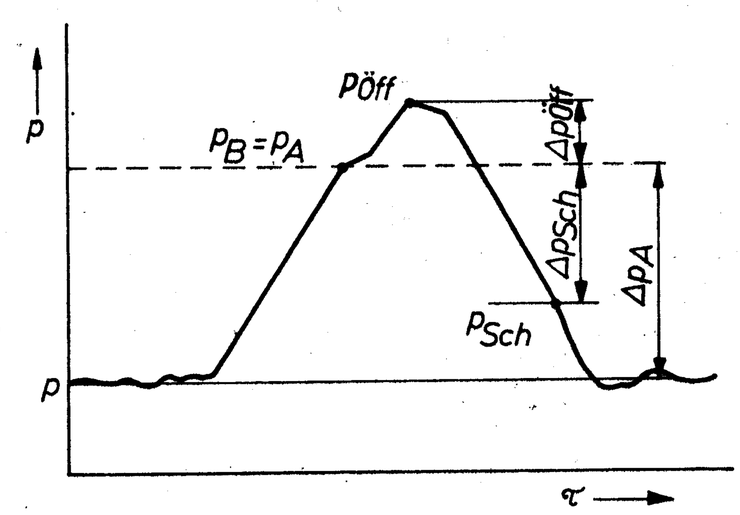
Für Wärmenetze, die im Niedertemperaturbereich betrieben werden, sollte der Sättigungsdruck für $t_{max,zul} = 100$ °C bestimmt, d. h. $p_S = 0{,}1$ MPa gesetzt werden.
Die regelungstechnischen Abweichungen sind entsprechend den eingesetzten Geräten, der Trägheit des Systems und weiteren spezifischen Bedingungen zu wählen.
Auch unter günstigsten Voraussetzungen sollten mindestens
$\Delta p_{Si} + \Delta p_{Re} = 0{,}05$ MPa und $\Delta t_{Si} + \Delta t_{Re} = 5$ K
angenommen werden. Der in Ansatz gebrachte Wert Δp_{Si} ist zu erhöhen, wenn die geforderte Schließdruckdifferenz eines auf p_B eingestellten Sicherheitsventils den Wert $(\Delta p_{Si} + \Delta p_{Re})$ überschreitet. Das Unterschreiten des Schließdrucks und die Abweichung der Druckhalteanlage müssen nicht addiert werden, da nach dem Ansprechen des Sicherheitsventils ein Druckrückgang auf $p_{V,max}$ nicht nachteilig ist. Nach Abschluß darf dann unter Ausschöpfen der Regelungstoleranz Δp_{Re} der Druck auf maximal $p_{V,max} + \Delta p_{Re}$ wieder ansteigen.
Die Berechnung wird im folgenden Beispiel gezeigt.
Für die Festlegung der Grenzwerte im Rücklauf ist in der Regel davon auszugehen, daß die Temperatur unter 100 °C liegt. Aus Gründen der Sicherheit bezüglich der erfaßten Größen und um Unterdruck zu vermeiden, wird der Absolutwert

$$p_{R,min,zul} = 0{,}15 \text{ MPa} \quad (11)$$

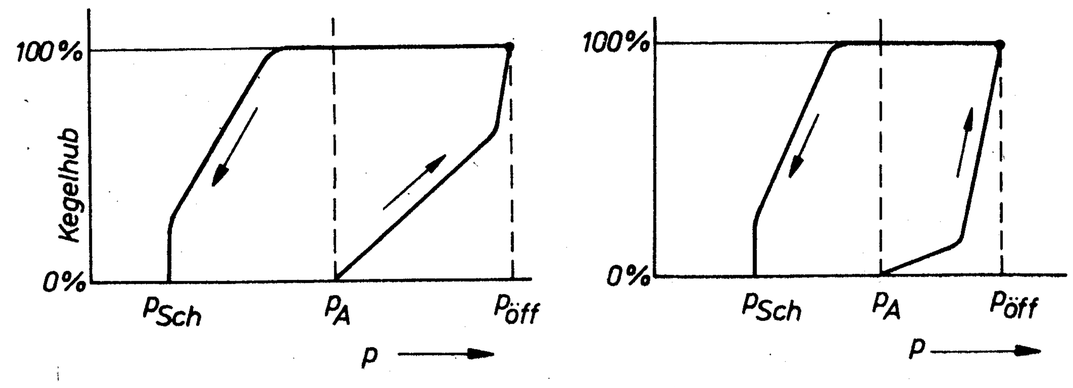
festgelegt. Der normative minimale Rücklaufdruck ergibt sich dann unter Addition der Regelabweichung zu

$$p_{R,min} = 0{,}15 \text{ MPa} + \Delta p_{Re}. \quad (12)$$

Wird mit Wärmespeicherung im Netzrücklauf gearbeitet, liegen die Temperaturen meistens über 100 °C. Es ist dann das $p_{R,min}$, ausgehend vom Sättigungszustand für $t_{R,max}$, unter Einbeziehung der Temperaturregelabweichung Δt_{Re} – analog zu Gleichung (10) – zu bestimmen.
Der maximale Rücklaufdruck darf theoretisch $p_{V,max}$ entsprechen.
Eine Zusammenstellung der abgeleiteten Größen ist im Bild 3 gegeben.
Bisher wurden nur statische Druck-Grenzwerte betrachtet. In der Praxis ergeben sich noch dynamische Druckschwingungen infolge gewollter oder ungewollter instationärer Vorgänge. Sie sind beispielsweise in /1/ beschrieben. Für die Havarie „Pumpenausfall", die Druckschwingungen mit der maximalen Amplitude Δp_{PA} bewirkt, gelten nach TGL 190-259/05 vereinfachte Aussagen für die zulässigen Mitteldrücke und Grenzruhedrücke. Für Wärmenetze mit einstufiger Kreiselpumpe und einem Wasserinhalt kleiner 5000 m³ folgen:



1 Druck-Zeit-Verlauf während des Ansprechens und Abströmens des Sicherheitsventils



2 Kegelhub-Druck-Verlauf während des Öffnens, Abströmens und Schließens des Sicherheitsventils nach /2/
Links: Proportional-Sicherheitsventil
Rechts: Vollhub-Sicherheitsventil

V_N m³	Δp_{Re} MPa	$\Delta p_{Re} + \Delta p_{PA}$ MPa
< 1000	0,03	0,03
1000 bis 5000	0,03	0,06

Diese Aussagen sollen nicht bedeuten, daß der Zuschlag für instationäre Druckverläufe bei Pumpenausfall $\Delta p_{PA} = 0$ bzw. 0,03 MPa beträgt, sondern es wird keine einfache Addition der Störfälle (Abweichung der Druckregelgröße Δp_{Re} und Druckstoß bei Pumpenausfall Δp_{PA}) vorgenommen.
Bei Ausfall der Umwälzpumpen können bezüglich der Wirkungsweise der Druckhalteanlagen zwei Grenzfälle vorkommen:
Variante 1: Kein sofortiger Volumenausgleich
Variante 2: Sofortiger trägheitsloser Volumenausgleich.
Näherungsweise entsprechen die dynamischen Druckhalteanlagen der Variante 1 und die statischen Systeme der Variante 2. Damit ergeben sich folgende zulässige Bereiche für den
Vorlaufdruck

$$p_{V,min} \leqq p_V \leqq p_{V,max} \quad (13)$$

Ruhedruck bei Variante 1

$$p_{V,min} \leqq p_0 \leqq p_{V,max} \quad (14)$$

Mitteldruck bei Variante 1

$$p_{V,min} + \Delta p_{PA} \leqq p_M \leqq p_{V,max} - \Delta p_{PA} \quad (15)$$

maximalen Ruhedruck bei Variante 2

$$p_{0,max} \leqq p_{V,max} - \Delta p_{PA} \quad (16)$$

minimalen Ruhedruck bei Variante 2

$$p_{0,min} \geqq p_{V,min} + \Delta p_{PA} \quad (17)$$

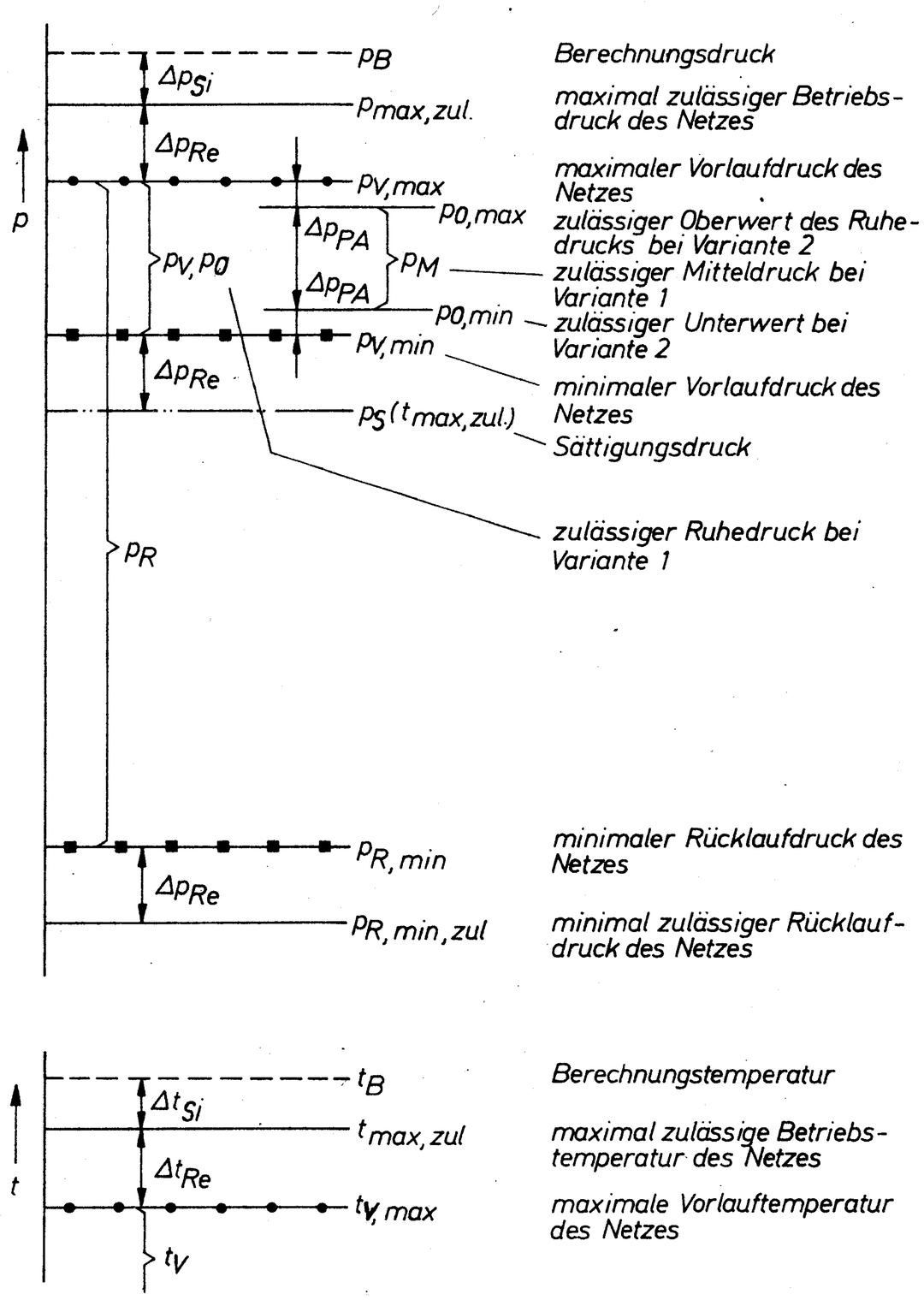
Rücklaufdruck

$$p_{R,min} \leqq p_R \leqq p_{V,max}. \quad (18)$$

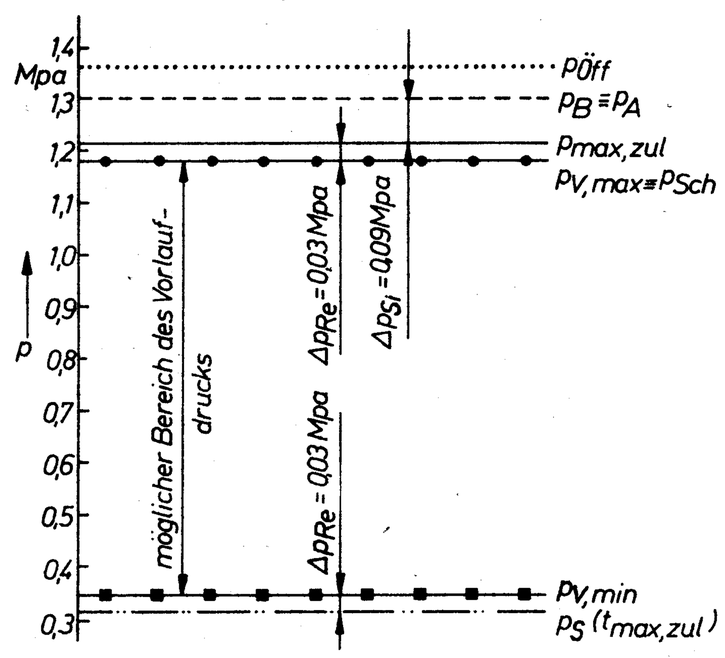
Die Druckbereiche bzw. Grenzdrücke sind ebenfalls im Bild 3 vermerkt.

1. Beispiel

Ein Wärmenetz mit einem Füllvolumen von $V_N = 250$ m³ soll mit einer statischen Druckhaltung (Gaspolster) verbunden sein. Der Berechnungsdruck beträgt $p_B = 1{,}3$ MPa. Für die Berechnungstemperatur gilt $t_B = 150$ °C und für die normative maximale Betriebstemperatur $t_{V,max} = 130$ °C. Das zu installierende Sicherheitsventil führt bei voller Abblaseleistung zu einem Druckanstieg vor dem Ventilsitz, der dem 1,05fachen Ansprechdruck p_A entspricht. Es schließt bei 0,90 p_A.
Für den Vorlaufdruck ist der praktisch mögliche Bereich zu bestimmen.



3 Zusammenhang zwischen Berechnungsgrößen, Betriebsgrößen und Toleranzen



4 Grafische Zusammenstellung der Ergebnisse des 1. Beispiels

Lösung

Der minimal erforderliche Vorlaufdruck berechnet sich aus Gleichung (10)

$p_{V,min} = p_S\,(130\ ^\circ C + 5\ K) + 0{,}03\ MPa = 0{,}34\ MPa.$

Es handelt sich dabei um den Absolutdruck.

Die Temperaturdifferenz beträgt

$\Delta t_{Si} + \Delta t_{Re} = t_B - t_{V,max} = (150\ ^\circ C - 130\ ^\circ C) = 20\ K.$

Dieser Wert ist völlig ausreichend, da er die Mindestforderung von 5 K beträchtlich übersteigt.

Für die Ermittlung des maximalen Vorlaufdrucks $p_{V,max}$ wird Bezug auf Bild 3 genommen. Bei p_B muß das Sicherheitsventil ansprechen. Somit gilt

$p_A = p_B = 1{,}3\ MPa = 1{,}2\ MPaÜ,$

wenn berücksichtigt wird, daß der Ansprechdruck üblicherweise als Überdruck angegeben wird. Der Druck bei voller Öffnung des Ventils darf nach den meisten Vorschriften bis zu zehn Prozent über dem Berechnungsdruck p_B – gemessen in MPaÜ – liegen. Der angegebene Wert von fünf Prozent bereitet somit keine Probleme.

Der maximale Öffnungsdruck beträgt

$p_{Öff} = 1{,}05 \cdot 1{,}2\ MpaÜ = 1{,}26\ MPaÜ = 1{,}36\ MPa.$

Das Sicherheitsventil schließt bei

$p_{Sch} = 0{,}9 \cdot 1{,}2\ MpaÜ = 1{,}08\ MPaÜ = 1{,}18\ MPa.$

Dieser Wert soll gleich oder größer dem maximalen Vorlaufdruck

$p_{V,max} \leqq 1{,}18\ MPa$

sein.

Die Ergebnisse sind im Bild 4 veranschaulicht.

Aus den berechneten Drücken folgen die Differenzen

$\Delta p_{Si} + \Delta p_{Re} = p_B - p_{V,max} = (1{,}3 - 1{,}18)\ MPa = 0{,}12\ MPa.$

Bei einer Regelungstoleranz von $\Delta p_{Re} = 0{,}03$ Mpa ist damit der Sicherheitszuschlag $\Delta p_{Si} = 0{,}09$ MPa am Einbauort des Sicherheitsventils zu wählen.

Der im Abschnitt „Druck- und Temperatur-Grenzwerte der Wärmenetze" angegebene Mindestwert $\Delta p_{Si} + \Delta p_{Re} = 0{,}05$ MPa wird überschritten.

Einbauorte

Die Vorschriften über die Anordnung und teilweise auch die Bemessung sind in den Standards TGL 190-259/05, 23043/01 und 23043/02 niedergelegt. Die Druckbegrenzung kann natürlich nur den maximal zulässigen Druck am Einbauort des Sicherheitsventils garantieren. Drucküberschreitungen an entfernten Netzstellen infolge unzulässiger Betriebszustände, z. B. wenn Vollastpumpen bei Schwachlast betrieben werden u. ä. m., sind durch elektrische Sicherheitsschaltungen oder dezentral angeordnete Sicherheitsventile zu verhindern. Die entsprechenden Druckgrenzen folgen aus den Druckschaubildern.

Um den Berechnungsdruck p_B (vgl. Bild 3) im Wärmenetz und in den direkt angeschlossenen Ausdehnungsgefäßen einzuhalten, sind Sicherheitsventile an jedem Ausdehnungsgefäß, Wärmebereitsteller und unter bestimmten Umständen direkt am Wärmenetz anzuordnen, sofern die Anlage nicht über hochliegende offene Ausdehnungsgefäße mit der Atmosphäre in Verbindung steht.

Druckerhöhungen können entstehen durch

- Dampfbildung bei abgesperrter Wärmeabgabe
- Volumenexpansion beim Aufheizen
- Rohrbruch der Heizschlange in Wärmeübertragern
- Zufluß von Netz-Inhaltwasser in bestimmte Anlagenabschnitte durch eine im Teillastbereich laufende Umwälzpumpe infolge Fehlbedienungen
- Zustrom des Druckmediums.

Die Sicherheitsventile am Ausdehnungsgefäß, Wärmebereitsteller und im Netz sind theoretisch auf gleiche Drücke unter Berücksichtigung der geodätischen Höhenunterschiede einzustellen. Praktisch sollen die am Ausdehnungsgefäß und im Netz installierten Sicherheitsventile aber vor denen der Wärmebereitsteller ansprechen.

In TGL 23043 ist keine eindeutige Belastungszuordnung für die einzelnen Ventile gegeben. Wird vom Verursacherprinzip ausgegangen, sollten die drei erstgenannten Fälle Grundlage für die Bemessung des Sicherheitsventils auf dem Wärmebereitsteller sein. Der dritte und vierte Belastungsfall ist dem Sicherheitsventil bzw. den Sicherheitsventilen am Ausdehnungsgefäß, an der Druckmedienleitung oder direkt am Wärmenetz zuzuordnen. (TGL 23043/01 fordert allerdings, daß die Bemessung des Sicherheitsventils am Ausdehnungsgefäß die Volumenexpansion beim Aufheizen grundlegend zu beachten hat.)

Die Berechnung der aufgeführten Belastungsfälle ist in /3/ unter Beachten der Ergänzung /4/ eindeutig dargelegt. Zusätzliche Überlegungen müssen aber noch bezüglich des Druckmedienstroms (Wasserzufluß) bei den im Folgenden beschriebenen Druckhaltevarianten angestellt werden. Es handelt sich dabei um in der Praxis bewährte Schaltungen, die teilweise einer Sicherung des Netzvorlaufdrucks (Sicherheitsventil Si) und auch des Ruhedrucks (Sicherheitsventil Si0) bedürfen.

Für die Berechnung gelten die Bezeichnungen

H Höhe in m
p Druck in MPa (Absolutwerte)
ϱ Dichte in kg/m^3
g Erdbeschleunigung (= 9,81 m/s^2)
k_{vs} Durchlaßkoeffizient des Regelventils in mm^2 (bezogen auf die übliche Angabe k^*_{vs} in m^3/h, gilt $k_{vs} = 28\ k^*_{vs}$)
Δp_p Pumpendruck.

Dynamische Druckhaltesysteme

Eine zusätzliche Belastung des im Bild 5 eingezeichneten Sicherheitsventils kann auftreten, wenn bei Ausfall des Abspeisereglers im geschlossenen Zustand weiterhin über die Druckdiktierpumpe aus dem Ausdehnungsgefäß Wasser in das Netz gefördert wird. Dies setzt jedoch voraus, daß der maximale Druck der Diktierpumpe den zulässigen Druck des Wärmenetzes überschreitet.
Für den rechnerischen Einspeisedruck gilt

$$p_{rechn} = p_{AG} + \Delta_{pP}(\dot{V}) + (H_{AG,max} - H_{Zu})\,\varrho_W g. \qquad (19)$$

Ist zwischen dem Druckverlauf $p_{rechn}(\dot{V})$ ein Schnittpunkt mit dem Ansprechdruck p_A beim Volumenstrom $\dot{V}$ vorhanden, muß das Sicherheitsventil den Massestrom

$$\dot{m}_W = \varrho_W \dot{V} \qquad (20)$$

abführen. Verläuft die Kurve p_{rechn} unterhalb des maximal zulässigen Drucks, entsteht keine Belastung des Sicherheitsventils ($\dot{m}_W = 0$).
Ist außer dem maximalen Betriebsdruck auch der Ruhedruck p_0 zu sichern, ist zwischen dem rechnerischen Druck p_{rechn} und p_0 der Schnittpunkt zu suchen. Es wird sich dann ein $\dot{V}_0 > \dot{V}$ ergeben. Der Massestrom, der das saugseitig der Umwälzpumpen angeordnete Sicherheitsventil Si0 beaufschlagt, beträgt

$$\dot{m}_{W,0} = \varrho_W \dot{V}_0. \qquad (21)$$

Statisch-dynamische Druckhaltesysteme

In den Bildern 6 und 7 sind zwei typische Schaltungen der kombiniert arbeitenden Druckhaltesysteme dargestellt. Der Zufluß des Druckmediums Wasser kann bei Havarie des Zuspeisereglers im offenen Zustand unkontrolliert erfolgen und den Druck im Wärmenetz erhöhen.
Ausgehend vom Ansprechdruck des Sicherheitsventils p_A und dem maximalen Förderdruck bei etwa Nullförderstrom der Umwälzpumpe $\Delta p_{P,max}$, ergibt sich der maximale Zuspeisedruck

$$p_{Zu} = p_A - \Delta p_{P,max}. \qquad (22)$$

Der Massestrom berechnet sich bei einem Ventilkoeffizient des Zuspeisereglers k_{vs} damit zu

$$\dot{m}_W = 0{,}001\, k_{vs} \sqrt{\varrho_W \left[(p_{AG} - p_{Zu}) + (H_{AG,max} - H_{Zu})\,\varrho_W g\, 10^{-6}\right]} \quad \text{in kg/s.} \qquad (23)$$

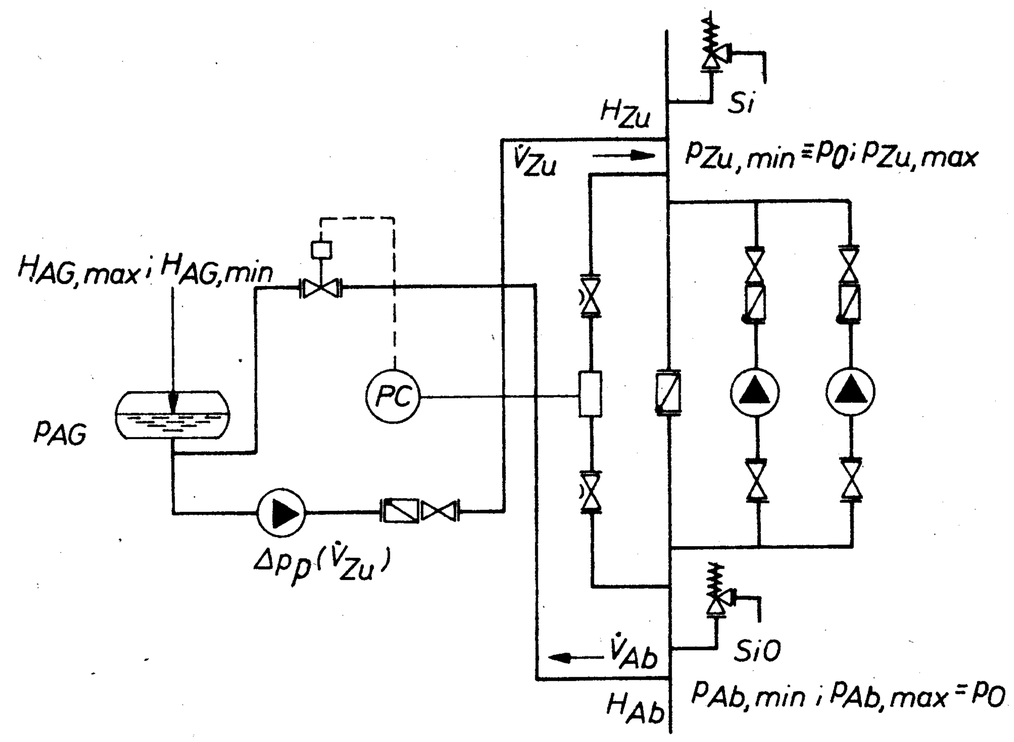
Soll der Ruhedruck durch ein an der Einspeisestelle angeordnetes Sicherheitsventil Si0 gesichert werden, gilt mit $p_{Zu} \approx p_0$ für den Massestrom

$$\dot{m}_{W,0} = 0{,}001\, k_{vs} \sqrt{\varrho_W \left[(p_{AG} - p_0) + (H_{AG,max} - H_{Zu})\,\varrho_W g\, 10^{-6}\right]} \quad \text{in kg/s.} \qquad (24)$$

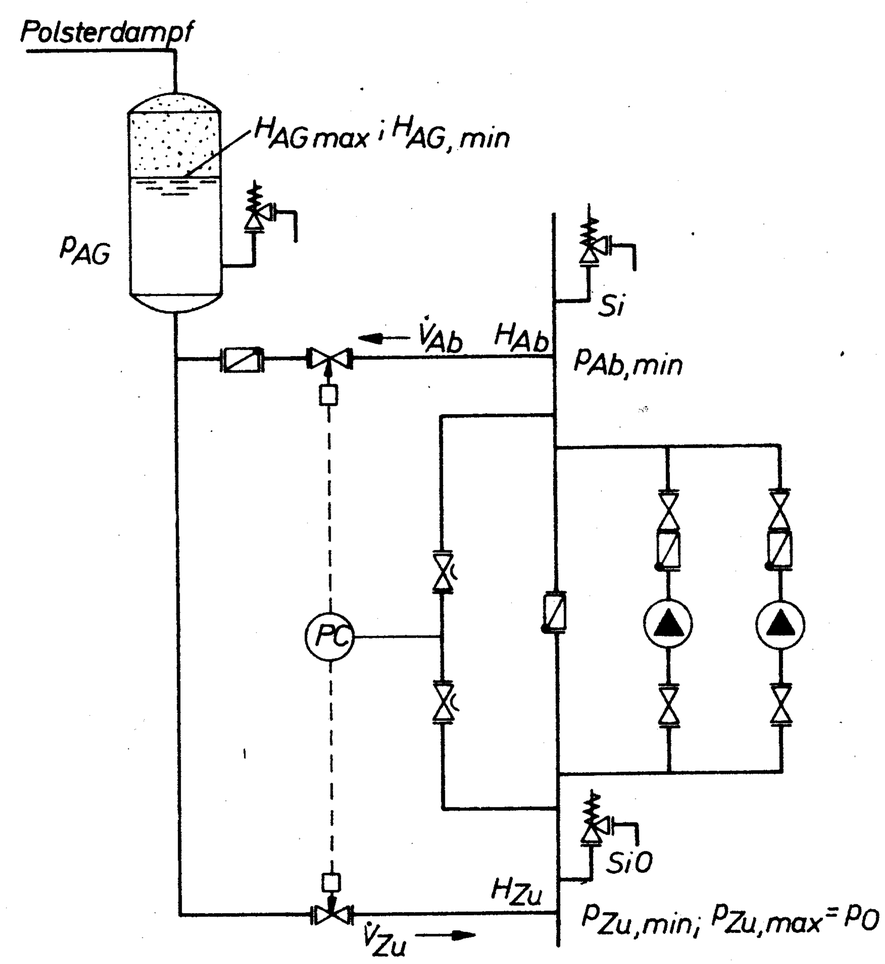
(Falls der Ruhedruck Schwankungen unterliegen kann, ist $p_0 = p_{0,max}$ zu setzen. Ferner gilt bei Schaltungen nach Bild 7 $p_{AG} = p_{AG,max}$.)

Nachgeschaltete Druckhaltesysteme

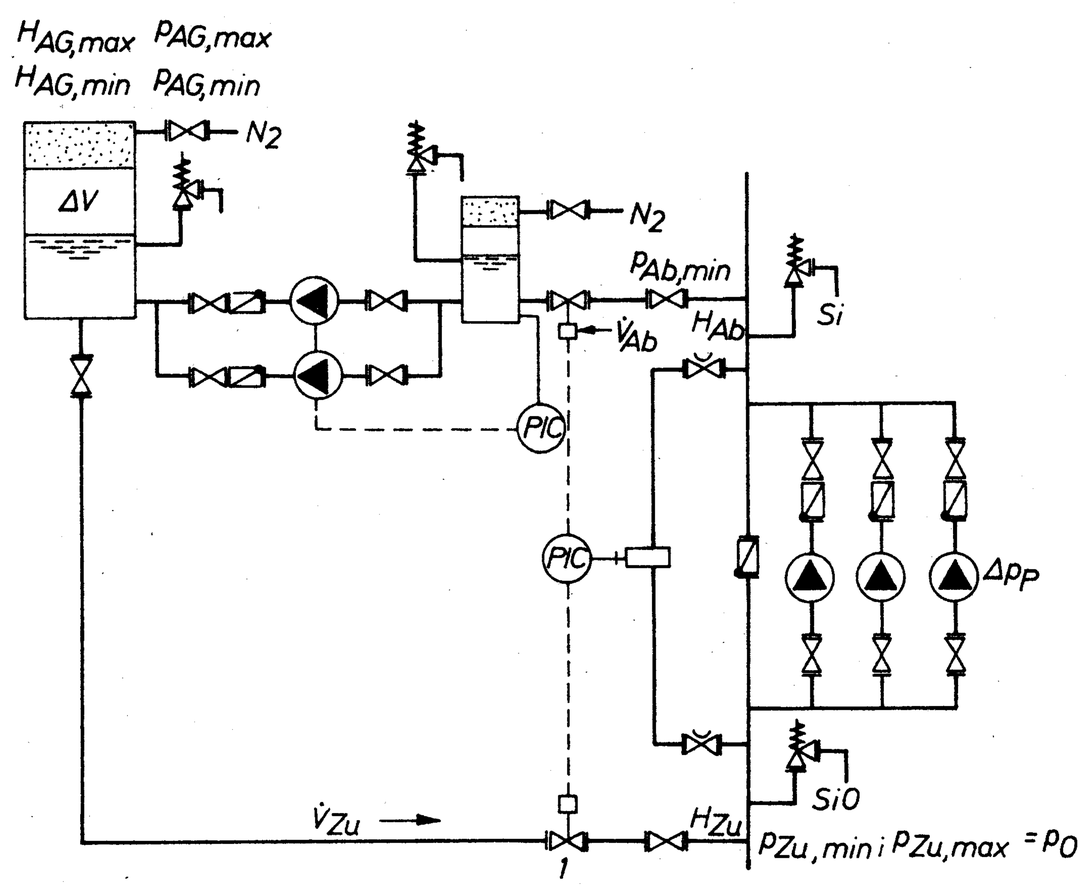
Die Überlegungen zur Anordnung der Sicherheitsventile sind analog zum vorhergehenden Abschnitt zu führen. Die mögliche Variantenvielfalt der nachgeschalteten Druckhaltesysteme läßt keine allgemeingültige Aussage zu. So ist beispielsweise bei einer Schaltung nach Bild 8 nur ein Sicherheitsventil am Netz in der Nähe der Zuspeiseleitung anzuordnen. Der maximale Abspeisestrom $\dot{m}_W$ entspricht Gleichung (23), wenn für p_{AG} der maximale Rücklaufdruck $p_{R',max}$ und statt $H_{AG,max}$ die Höhe der Rücklaufanzapfung $H_{R'}$ verwendet werden.
Die Belastung der Sicherheitsventile Si und Si0 (Bild 9) ergibt sich analog den Massesträmen nach den Gleichungen (23) und (24). Dabei sind wiederum statt der Parameter des Ausdehnungsgefäßes die des Primärvorlaufs einzusetzen.



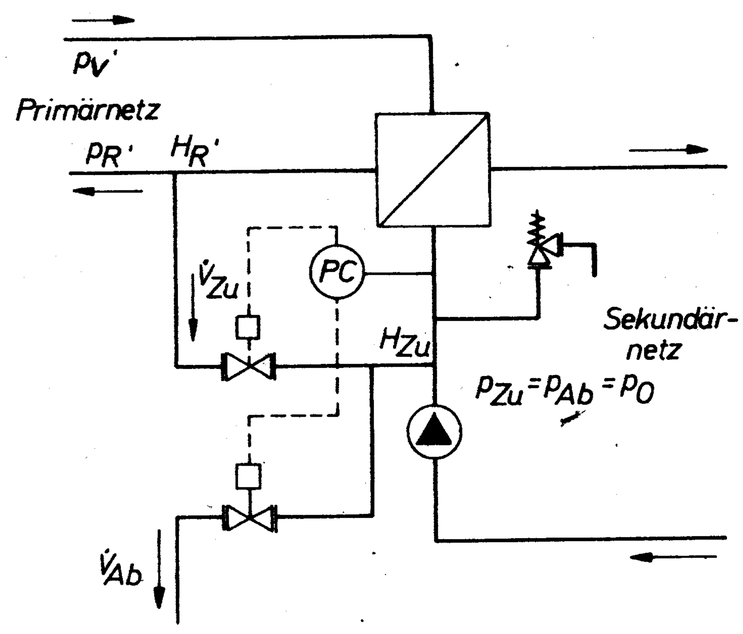
5 Dynamische Mitteldruckhaltung mit Angabe der Berechnungsparameter



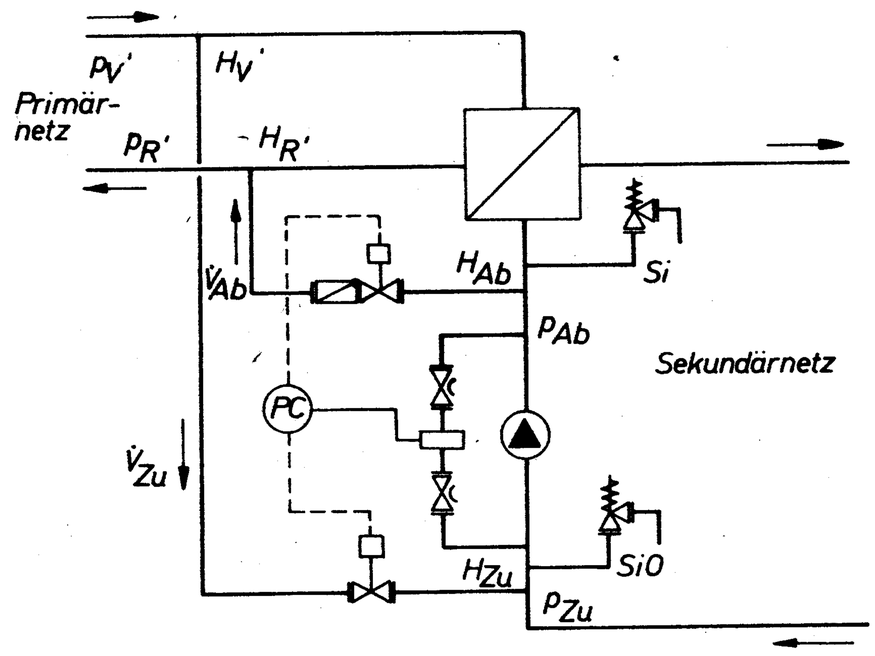
6 Mitteldruckhaltung mit dampfbeaufschlagtem Ausdehnungsgefäß und Angabe der Berechnungsparameter



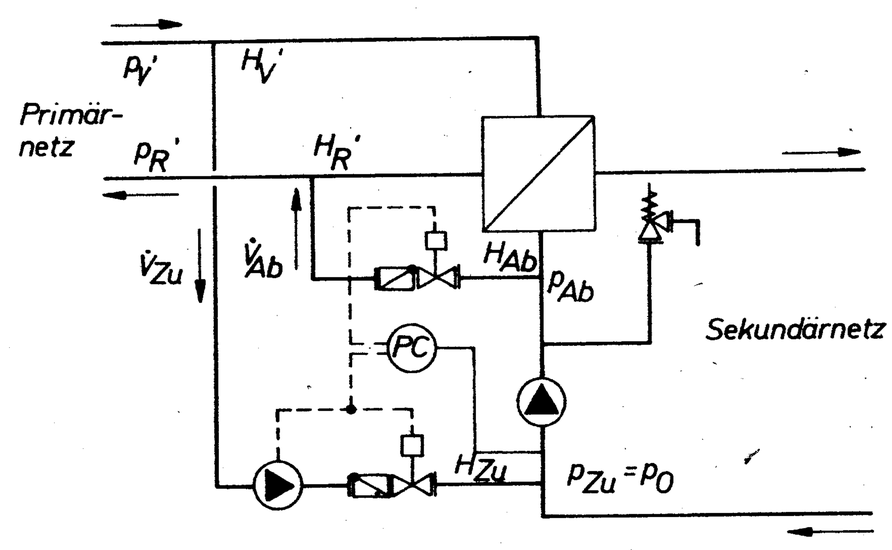
7 Mitteldruckhaltung mit stickstoffbeaufschlagtem Ausdehnungsgefäß



8 Nachgeschaltetes Druckhaltesystem mit Zuspeisung aus dem Primärrücklauf und ungenutzter Abspeisung in Abhängigkeit des Enddrucks



9 Nachgeschaltetes Druckhaltesystem mit Zuspeisung aus dem Primärvorlauf und Abspeisung in den Primärrücklauf in Abhängigkeit des Mitteldrucks



10 Nachgeschaltetes Druckhaltesystem mit Zuspeisung aus dem Primärvorlauf unter zusätzlicher Verwendung einer Pumpe und Abspeisung in den Primärrücklauf in Abhängigkeit des Saugdrucks

Bei einer Schaltung nach Bild 10 ist der Zuspeisedruck p_{Zu} nach Gleichung (22) zu berechnen. Der maximale Einspeisestrom $\dot{V}$ folgt dann aus der Gegenüberstellung von p_{rechn} analog Gleichung (19)

$$p_{rechn} = p_{V',max} + \Delta p_P(\dot{V}) + (H_{V'} - H_{Zu})\,\varrho_W g \qquad (25)$$

mit p_{Zu}. Der Massestrom berechnet sich nach Gleichung (20).

2. Beispiel

Für die Mitteldruckhaltung nach Bild 7 sollen die Belastungen der Sicherheitsventile Si und Si0 bei Havarie des Zuspeisereglers untersucht werden.

Der Berechnungsdruck beträgt $p_B = 1{,}4$ MPa. Der Ruhedruck darf $p_{0,max} = 1$ MPa nicht überschreiten. Der untere Grenzwert liegt bei $p_{0,min} = 0{,}82$ MPa. Die Sicherheitsventile sind $H_{Ab} = H_{Zu} = 3$ m unter dem höchsten Wasserspiegel im Ausdehnungsgefäß angeordnet.

Der Ventilkoeffizient für das Stellglied 1 wurde mit $k^*_{vs} = 31{,}5\ m^3/h$ gewählt.

Weiterhin sind gegeben:

$\Delta p_{P,max} = 0{,}60$ MPa (bei Förderstrom $\dot{V} \approx 0$);

$p_{AG,max} = 1{,}65$ MPa; $\varrho_W = 980\ kg/m^3$.

Lösung

Die Belastung des Sicherheitsventils ergibt sich beim angegebenen Belastungsfall nach Gleichung (23). Zuvor ist jedoch der Zuspeisedruck nach Gleichung (22) zu bestimmen

$p_{Zu} = (1{,}4 - 0{,}6)$ MPa $= 0{,}8$ MPa.

Weiterhin ist die Umrechnung des k^*_{vs}-Werts zu beachten. Es folgt schließlich

$$\dot{m}_W = 0{,}001 \cdot 31{,}5 \cdot 28 \sqrt{980\left[(1{,}65 - 0{,}8) + 3 \cdot 980 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{-6}\right]}$$

$\dot{m}_W = 25{,}88$ kg/s.

Der Ansprechdruck für das Sicherheitsventil Si0 wird mit $p_A = 0{,}9$ MPa gewählt. Damit können die Grenzwerte $p_{0,min} = 0{,}82$ MPa und $p_{0,min} = 1$ MPa ohne weiteres eingehalten werden.

Die Belastung des Sicherheitsventils Si0 berechnet sich nach Gleichung (24) zu

$$\dot{m}_{W,0} = 0{,}001 \cdot 31{,}5 \cdot 28 \sqrt{980\left[(1{,}65 - 0{,}9) + 3 \cdot 980 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{-6}\right]}$$

$\dot{m}_{W,0} = 24{,}37$ kg/s.

Diese relativ hohen Abblasestöme könnten reduziert werden, wenn beispielsweise zwei parallel geschaltete Stellventile mit kleineren k_{vs}-Werten – als für Ventil 1 angenommen – zum Einsatz kämen.

Literatur

/1/ *Albert, T.:* Empfehlungen zur druckmäßigen Begrenzung von Heißwasser-Fernwärmenetzen für Wohngebiete. *„Stadt- und Gebäudetechnik"* **32** (1978) H. 8 und 10

/2/ Unterlagen der Firma Bopp & Reuther GmbH, Mannheim-Waldhof

/3/ *Glück, B.:* Bausteine zur rationellen Projektierung von Wasserheizungssystemen. VEB Kombinat TGA, Institut, 1976

/4/ *Seidel, K. / Glück, B.:* Bemessung von Sicherheitsventilen an Wärmeübertragern und Ausdehnungsgefäßen in der Heizungstechnik *„Stadt- und Gebäudetechnik"* **35** (1981) H. 9