

Armaturen für Druck- und Durchflussregelung in Kraftwerksleitungen

Pressure- and flow-control valves in power plant piping

Britta Daume, Björn Carstensen

Regelarmaturen finden in den unterschiedlichsten industriellen Bereichen ihren Einsatz. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Auslegung und Konstruktion von Regelventilen für die Druck- oder Durchflussregelung in Kraftwerksleitungen.

Control valves are used in the most diverse range of industries. This article focuses on the design and construction of valves for regulation of pressure and flow in the piping of power generation plants.

Vordruck, Nachdruck, Menge und Temperatur eines Mediums, das sind die detaillierten Betriebsparameter, die zunächst für die Auslegung von Regelventilen benötigt werden. Sind diese Parameter spezifiziert, ist die Bauform des Regelventils festzulegen, wobei hier je nach Applikation und Regelaufgabe verschiedene Ausführungen in Durchgangsform, Eckform, Z-Form und 3-Wege zur Auswahl stehen.

Welche Bauform?

Die am häufigsten verwendete Ventilbauform ist die Durchgangsform, während Ventile in Z-Ausführung nur bei einer sehr hohen Druckdifferenz zum Einsatz kommen. Eckventile wiederum dienen entweder als Erweiterung, wenn ein geringer Nachdruck benötigt wird, oder ermöglichen die Einsparung eines Rohrbogens, falls dies aus planerischer Sicht gewünscht wird. Darüber hinaus haben Eckventile den Vorteil einer gleichmäßigen Ausströmung nach der engsten Ventilstelle, der sogenannten Vena Contracta.

Die 3-Wege-Bauform schließlich wird für Verteiler- oder Mischventile genutzt.

Bei Verteilerventilen strömt das Medium über einen Anschluss ein und wird auf zwei Abgänge verteilt. Beim Mischventil hingegen erfolgt die Anströmung umgekehrt. Verteilerventile sind zumeist in Wärmetauschern zu finden, da häufig ein Teil des Mediums über den Wärmetauscher und ein weiterer Teil über einen Bypass geleitet wird.

Welcher Anschluss?

Steht die Bauform des Ventils fest, ist seine Anschlussform in der Rohrleitung – entweder über eine Flansch- oder eine Schweißverbindung – zu klären. Zwar macht das Regelwerk zur Wahl der „richtigen“ Anschlussvariante keinerlei Vorgaben, jedoch gibt es hierzu durchaus gewisse Erfahrungswerte.

So haben sich bei Leitungen, die bei einem bestimmten Betriebspunkt einem Unterdruck ausgesetzt werden, Einschweißventile bewährt. Das Gleiche gilt bei Ventilen für überhitzten Dampf. Für Speisewasserregelventile eignet sich hingegen mit Blick auf die Instandsetzung eine Flanschverbindung, die eine leichtere Entnahme des Ventils aus der Rohrleitung ermöglicht.

Festigkeit und Regelwerk?

Sind die Ventilbauform und die Anschlussform spezifiziert, muss als nächstes die Festigkeitsauslegung und das Regelwerk zur Fertigung und Montage des Ventils bestimmt werden. Die Auswahl des korrekten Regelwerks ist deshalb entscheidend, da bei älteren Anlagen teilweise noch die TRD relevant ist. Für Neubauten hingegen wird in Europa zumeist die Druckgeräterichtlinie 97/23/EG angewendet, obwohl in manchen Anlagen zum Teil auch andere Regelwerke wie der ASME Code Verwendung finden.

Bei der Festigkeitsauslegung des Ventils sind die angrenzenden Komponenten, zum Beispiel Sicherheitsventile, zu berücksichtigen. Da der Betriebspunkt häufig nicht gleich dem maximal möglichen Auslegungspunkt ist, liegt der Auslegungspunkt zumeist rund 15 bis 30 Prozent über dem Betriebspunkt. Hierbei ist besonders der Temperatur des Mediums Beachtung zu schenken, denn die Festigkeitswerte von Stahlerzeugnissen unterliegen insbesondere bei höheren Temperaturen starken Veränderungen. Ein Beispiel hierfür ist

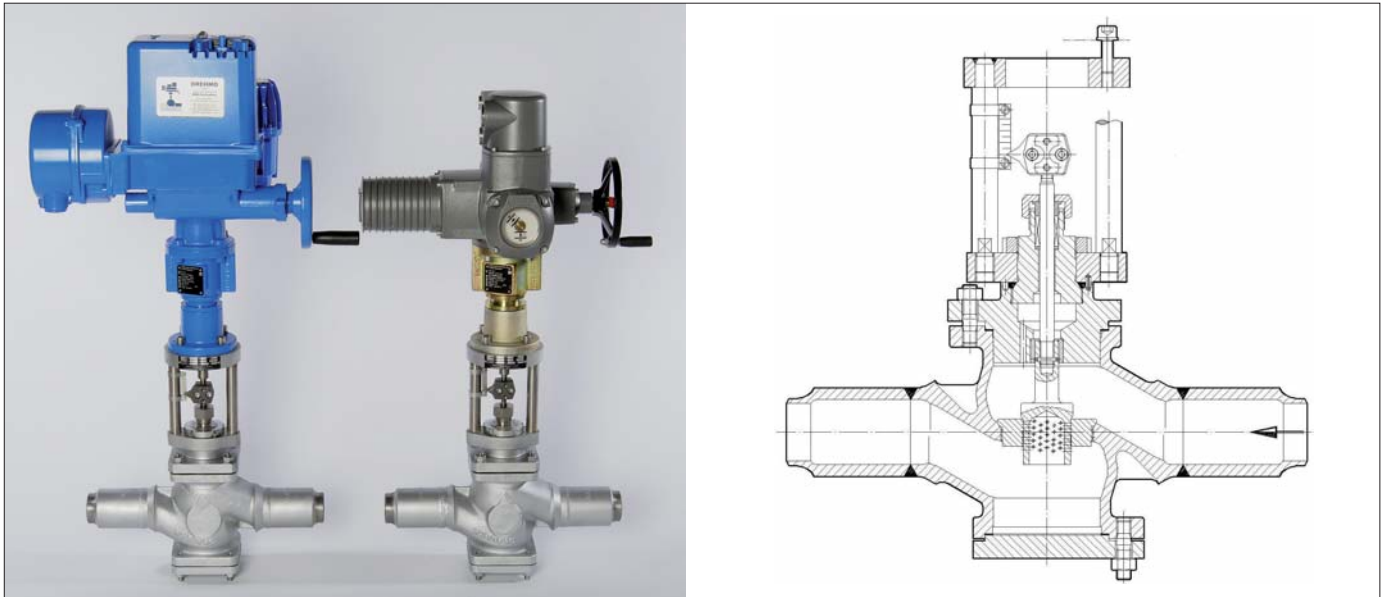


Bild 1: Niederdruck-Speisewasser-Regelventil: Abschluss des Gehäuses nach außen über eine Deckeldichtung

Fig. 1: Low pressure feedwater control valve: bonnet gasket for sealing of the housing from the exterior

Stahlguss 1.0619 (GP240GH), der bei einer Raumtemperatur einen Festigkeitswert von 240 N/mm^2 und bei 350 °C einen Festigkeitswert von 135 N/mm^2 aufweist.

Welche Innengarnitur?

Für die Auslegung der Innengarnituren ist entscheidend, ob ein gasförmiges oder ein flüssiges Medium das Ventil

durchströmt. Bei gasförmigen Medien sind vor allem auf die bei einer Druckreduzierung entstehenden Geschwindigkeiten zu achten. Diese sollten unter $1/3$ Mach bleiben, damit die von dem Ventil emittierten Geräuschpegel unter 85 dB(A) liegen. Bei Heißdampf ist dies indes nicht immer möglich. Hier kann allerdings die Isolierung noch als schalldämmende Maßnahme genutzt werden. Bei hohem Druckabbau sollte

zudem die Dichtkante von Sitz und Kegel mittels einer Legierung geschützt werden.

Bei flüssigen Medien, besonders bei Wasser, sollte der Druckabbau so realisiert werden, dass es in keinem Betriebspunkt zur Kavitation kommt, denn diese erhöht die Erosion und damit den Verschleiß der Innengarnitur.

Nachfolgend werden einige Regelventile sowie deren Einsatzbereiche und Funktionsweise beschrieben.

Speisewasser-Regelventile

Speisewasser-Regelventile regeln den Druck und den Durchfluss im Speisewassersystem. In Kraftwerken finden sich dazu Hochdruckventile aus Schmiedestahl oder Stahlguss. In Industrieanlagen werden hingegen aufgrund geringerer Betriebsdrücke auch Niederdruckregelventile aus Stahlguss eingesetzt.

Das Herzstück der Ventilkonstruktion besteht aus einem Lochdrosselkörper und dem auswechselbaren Sitz. Die Ventilkennlinien werden auf die Haupt- und Randbedingungen des Regelkonzeptes abgestimmt. Der druckdichte Abschluss des Gehäuses nach außen erfolgt über eine Deckeldichtung (**Bild 1**) oder einen selbstdichtenden Deckelver-

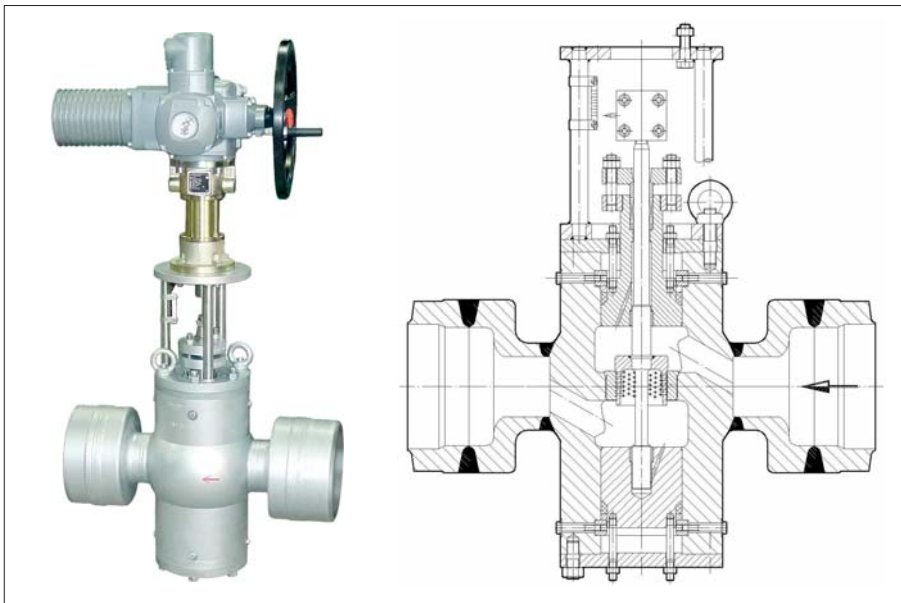


Bild 2: Hochdruck-Speisewasser-Regelventil: Abschluss des Gehäuses nach außen über einen selbstdichtenden Deckelverschluss

Fig. 2: High pressure feedwater control valve: self-sealing closure system for sealing of the housing from the exterior

schluss (**Bild 2**). Die Abdichtung des Spindelschaftes wird über eine Packung, die mittels Überwurfmutter oder Brille verpresst wird, realisiert.

Kleinere Stellantriebe

Ventile ab etwa Baugröße DN 100 können mit einer Druckentlastung ausgerüstet werden. Hierdurch werden übergroße Stellkräfte vermieden, so dass sich kleinere Stellantriebe realisieren lassen. Jede Armatur kann zudem mit Einschweißenden entsprechend dem Rohrleitungswerkstoff gefertigt werden.

Alle Ventile lassen sich mit elektrischen Linearantrieben, pneumatischen, hydraulischen Schubantrieben oder hydraulischen Stellzylindern mit getrenntem Hydrauliksystem ausstatten. Bei elektrischen Linearantrieben übernimmt die eingebaute Spindelmutter die Umsetzung des Drehmoments in axiale Schubkraft.

Gängige Baugrößen solcher Ventile gehen bis DN 250, wobei die Abstufungen den Nennweiten entsprechen. Die sicherheitstechnische Berechnung von Hauptspeisewasser-Regelventilen und somit deren Auslegung erfolgt gemäß gewünschter Festigkeit (Druck/Temperatur/Prüfdruck).

In Sonderfällen, etwa bei nicht drehzahlgeregelten Speisewasserpumpen,

können permanent hohe Druckgefälle auftreten. Hier empfiehlt sich ein Ventil in Z-Form oder Eckform mit mehrstufigem Drosselkörper.

Gemäß ihrer Funktionen und Ausführungen unterscheidet man bei Hauptspeisewasser-Regelventilen zwischen Volllast-Regelventilen, Schwachlast- oder Anfahrregelventilen.

Speisewasser-Regelung

Über einen einstufigen Lochdrosselkörper wird die Bedarfsmenge des Speisewassers eingestellt – in diesem Fall ($< 30 \text{ bar } \Delta p$). Eine logarithmische Öffnungskennlinie hat sich hierbei als sinnvoll erwiesen, da bei dieser Kennlinie kleine Mengen im unteren Hubbereich des Ventils gut geregelt und auch große Mengen bei Vollhub mit abgedeckt werden können.

Bei den Ventilen von Daume-Regelarmaturen wird ein Lochkörper im Eintritt eingebaut. Hierdurch wird der Drosselkörper gleichmäßig am Umfang verteilt angeströmt und Schwingungen an der Ventilspindel werden verringert, da der Lochkörper als Strömungsgleichrichter fungiert.

Spezielle Werkstoffe

Durch den Einsatz spezieller Werkstoffe in den Regelventilen von Daume wird zudem der Verschleiß selbst bei hohen

Beanspruchungen reduziert und somit die Lebensdauer der Ventile verlängert. Beim Medium Wasser werden zum Beispiel martensitische, gehärtete Werkstoffe eingesetzt.

Bei Kesselanlagen mit einer Trommel lassen sich mit solchen Ventilen der Wasserstand in der Trommel und bei nicht drehzahlgeregelten Speisewasserpumpen der Differenzdruck regeln. Dies ist vor allem dann erforderlich, wenn die Speisewasserpumpen bei Zwangsdurchlaufkesseln nicht weiter heruntergefahren werden können, eine Mengenregelung vor allem aber für den unteren Mengenbereich vorgenommen werden muss.

Volllast-Regelventile

Volllast-Regelventile befinden sich im Hauptspeisewasserstrang und regeln die Gesamtspeisewassermenge eines Dampferzeugers, wobei sie ein möglichst geringes Druckgefälle erzeugen sollen.

Aufgrund ihrer Auslegung haben Volllast-Regelventile einen relativ großen Sitzdurchmesser.

Nach dem Anfahren der Anlage und dem Schwachlastbetrieb erfolgt die Umschaltung auf die Volllast-Turbo-Pumpe. Das Regelventil für das Hauptspeisewasser übernimmt ab einer bestimmten Mindestlast die weitere Regulierung

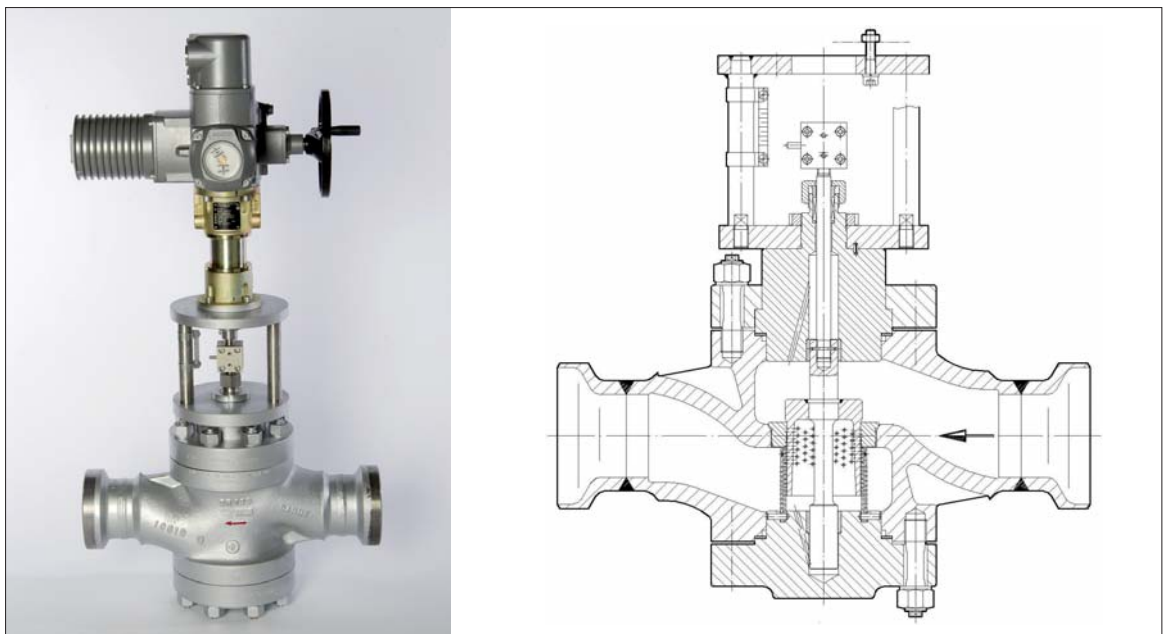


Bild 3:
Mehrstufiges Kondensat-Regelventil

Fig. 3:
Multistage steam condensate control valve

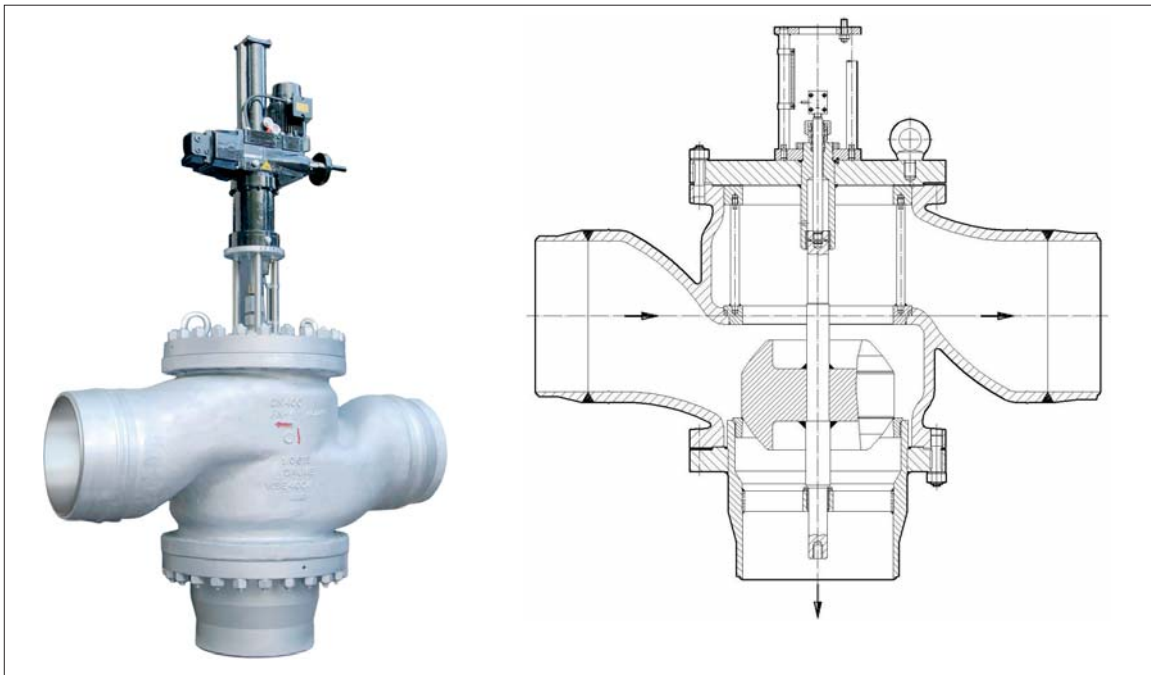


Bild 4:
3-Wege-Regelventil
mit einem Stecksitz
für die Demontage
der Kegelspindel

Fig. 4:
Threeway control
valve with valve-seat
insert for dismantling of the cone
spindle

der Speisewassermenge analog zur steigenden Leistung der Anlage. Der Speisewasserdurchfluss wird nun von der drehzahlregulierten Volllastspeisepumpe eingestellt. Regeltechnisch bleibt hierbei das Hauptspeisewasserregelventil voll im Eingriff, so dass eventuell notwendige Durchflusskorrekturen sofort durchführbar sind.

Nach dem Füllen und Entlüften des Dampfkessels sind die Schwachlast- bzw. Anfahrregelventile geschlossen. Die Kesselumwälzpumpe wird eingeschaltet und der Wasserstand in der Anfahrflasche über das Ablauf-Regelventil eingestellt. Nach dem Zünden des Kessels steigt die Temperatur, so dass Dampf in den HD-Überhitzer und weiter zur HD-Bypassstation gelangt. Hierdurch verringert sich die Wassermenge im Kessel. Über das Anfahrventil wird diese Wassermenge nachgeführt. Mit steigender Feuerleistung übernimmt das Hauptspeisewasserregelventil diese Aufgabe.

Wenn aus dem Verdampfer nur noch Dampf austritt und somit die Anfahrflasche trocken wird, muss die Kesselumwälzpumpe abgeschaltet werden. Ist die Druckdifferenz über das Hauptspeisewasserregelventil klein genug, kann der Kesselabsperrierschieber geöffnet und die Mengenregelung von der Speisepumpe übernommen werden.

Schwachlast- bzw. Anfahrregelventile

Zum An- und Abfahren sowie für den Schwachlastbetrieb müssen hingegen hohe Druckdifferenzen mit kleinen Speisewasserströmen beherrscht werden. Im Bypass zu den Volllast-Regelventilen werden hierzu Schwachlast- oder Anfahr-Regelventile eingesetzt.

Für die Auslegung solcher Ventile werden als Maximalmenge 30 bzw. 50 Prozent der Hauptspeisewassermenge angesetzt. Diese ergeben im Zusammenhang mit höheren Druckgefällen wesentlich kleinere Sitzdurchmesser. Damit wird die Feinregelung selbst sehr kleiner Speisewassermengen möglich. Zwei Schwachlastventile im Bypass zum Volllast-Regelventil ermöglichen zu-

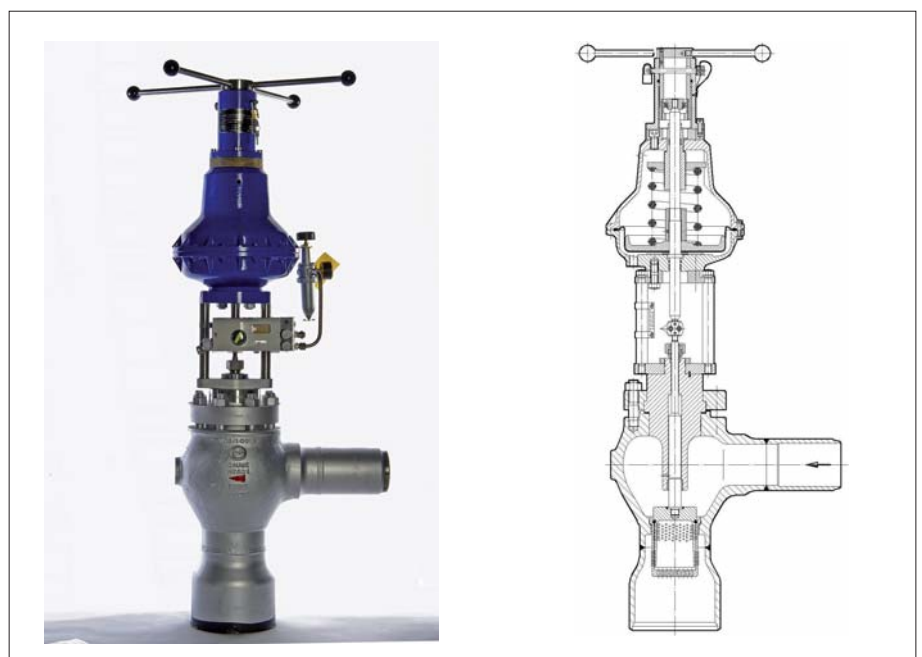


Bild 5: Anfahrregelventil zum Ablasen des Heißdampfs aus dem Kessel

Fig. 5: Startup control valve for blow off of superheated steam from a boiler

dem im Notfall den Weiterbetrieb der Anlage, zum Beispiel bei eventuellen Störungen am Hauptventil.

Die Druckregelung beim Anfahren und im Schwachlastbetrieb erfolgt über Elektro-Speisepumpen. Da sich diese jedoch nicht beliebig weit herunter regeln lassen, erfolgt die Regelung des Speisewasserdurchflusses durch Anfahr-Regelventile

Kondensatregelventile

Kondensatregelventile regeln das Niveau von Kondensat im Wasser-Dampf-Kreislauf. Aufgrund der häufig kritischen Beanspruchungen solcher Ventile sind hier zum Beispiel Ausdampfungen oder Kavitation zu beobachten, die auch schon bei geringeren Druckgefällen auftreten. Die Innengarnitur dieser Ventile sollte daher gehärtet werden. Zusätzlich sind die Armaturen häufig mehrstufig ausgeführt (**Bild 3**).

3-Wege-Regelventile

3-Wege-Regelventile dienen zum Mischen oder Verteilen von Stoffströmen.

Da ein geringer Druckverlust über das Ventil zumeist ausdrücklich gewünscht ist, verfügen sie über einen größtmöglichen Sitzdurchmesser. **Bild 4** zeigt ein 3-Wege-Regelventil mit Einschweißen und einem Stecksitz für die Demontage der Kegelspindel.

Eine besondere Anwendung solcher Ventile ist die Regelung von demineralisiertem Wasser, das vor allem im Kühlmittelkreislauf als Wärmeträger zum Einsatz kommt. Dieses Wasser darf keinerlei Verunreinigungen aufweisen; daher kommen hier ausnahmslos Ventile zum Einsatz, deren Innengarnitur und auch Körper ausnahmslos aus Edelstahl bestehen.

Dampf-Anfahrregelventil

Da beim Anfahren des Kessels einer Anlage der Dampf noch nicht die benötigten Parameter hat, werden Anfahrregelventile (**Bild 5**) zum Ablasen des Heißdampfs aus dem Kessel genutzt. Hierbei wird der Dampf geregelt über das Ventil mit nachgeschaltetem Schalldämpfer über Dach abgefahren. Druck und Temperatur steigen über den ge-

samten Anfahrprozess, bis der Dampf die benötigten Parameter aufweist und das Ventil schließt. Die Herausforderung hierbei: Das Regelventil und der nachgeschaltete Schalldämpfer müssen exakt aufeinander abgestimmt sein, denn zum Ende des Anfahrprozesses treten hohe Druckdifferenzen und Temperaturen auf. Erfolgt eine derartige Abstimmung nicht, kann es zu Schallemissionen kommen.



Dipl.-Ing. Britta Daume

Daume Regelarmaturen
GmbH
30916 Isernhagen
Tel.: +49 (0)511 90214-0



Dipl.-Ing. Björn Carstensen

Daume Regelarmaturen
GmbH
30916 Isernhagen
Tel.: +49 (0)511 90214-0
mail@daume-
regelarmaturen.de