

Wasseraufbereitung, Dampfkessel, Kondensatwirtschaft

Dampferzeugung für die industrielle Nutzung

Die Erzeugung von Wasserdampf für die industrielle Nutzung und seine Handhabung unterscheiden sich in einigen Punkten erheblich von der üblichen Wärmeerzeugung in der Heiztechnik mit Wasser als Wärmeträgermedium. Insbesondere die Hochdruck-Dampferzeugung im größeren Leistungsbereich erfordert eine besondere Ausstattung der Anlagen.

Wasserdampf wird in vielen Bereichen der industriellen Produktion als Energieträger und als Träger chemischer Substanzen eingesetzt. Typische Einsatzfelder sind beispielsweise die Papier- und Baustoffindustrie, Raffinerien, die pharmazeutische Industrie sowie die Verarbeitung von Lebensmitteln im industriellen Maßstab. Dampf treibt aber auch Turbinen zur Stromerzeugung an, vulkanisiert Gummiprodukte und sterilisiert Verpackungen.

Der Vorteil von Dampf als Wärmeträgermedium liegt darin, dass er im Vergleich zu Wasser eine deutlich höhere Wärmekapazität besitzt. Der hohe Energieeinsatz bei der Verdampfung wird mit dem Dampf transportiert und bei der Kondensation wieder frei, wozu bei gleicher Temperatur weniger als

ein Sechstel der Masse im Vergleich zum Wärmeträger Wasser transportiert werden muss.

Wenn man Wasser in einer kälteren Umgebung unter Zufuhr von Wärme verdampft, kondensieren Teile des gasförmigen Wassers wieder zu feinsten Tröpfchen. Der Wasserdampf besteht dann aus einer Mischung von feinsten Tröpfchen und gasförmigem Wasser. Diese Mischung bezeichnet man als Nassdampf.

Wird der aus dem Dampferzeuger kommende Dampf vom Wasser getrennt und ihm weitere Wärme zugeführt, so verdampfen die feinen Wassertröpfchen, der Dampf wird „trocken“. Dieser Grenzbereich zwischen Nass- und Heißdampf heißt „Satttdampf“ oder in Abgrenzung zum Nassdampf gelegentlich auch „Trockendampf“. Sobald

alle Tröpfchen verdampft sind, führt weitere Wärmezufuhr zu einer Temperaturerhöhung, der Dampf wird „überhitzt“ und als Heißdampf bezeichnet. Physikalisch verhält sich der Dampf jetzt wie ein Gas und ist unsichtbar.

Regelungen für die Sicherheit

Ein üblicher Dampfkessel für industrielle Anwendungen ist ein „geschlossenes Gefäß“. Das heißt, der Dampf steht in der Regel unter einem Überdruck gegenüber der Atmosphäre. Während bei Umgebungsdruck aus einem Liter Wasser etwa 1700 Liter Dampf werden, beträgt das Volumen beispielsweise bei 7 bar Überdruck 240 Liter. Leicht nachzuvollziehen ist, dass bei einer Öffnung des Behälters schlagartig eine Volumenausdehnung stattfindet, die entsprechende Gefahren mit sich bringt.

Mit dem Ziel, die Sicherheit von Geräten in Bezug auf Druckrisiken zu gewährleisten, wurde die „Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte“ (DGRL) geschaffen. Sie gilt auch für alle Dampfkessel mit einem zulässigen Betriebsüberdruck von mehr als 0,5 bar oder einer Betriebstemperatur von mehr als 110 °C und einem Volumen von mehr als zwei Liter. Druckgeräte müssen danach in allen Mitgliedsstaaten der EU bestimmte Anforderungen an Konstruktion, Fertigung und Qualität erfüllen. Neben dem Druckgerät selbst fallen auch alle Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion und alle druckhaltenden Ausrüstungsteile in den Geltungsbereich der Richtlinie.

In der Anlage II der DGRL sind im Konformitätsbewertungsdiagramm Nr. 5 die befeuerten Druckgeräte (Dampfkessel) in Kategorien unterteilt (Bild 2). Aufgrund der Formel „Druck mal Volumen“ fallen z. B. die Hochdruckdampfkessel Vitomax 200 HS (Bild 1) in die Kategorie IV des Diagramms, die Niederdruck-Dampferzeuger Vitoplex 100 LS (zulässiger Betriebsüberdruck 1 bar) mit einem Inhalt von weniger als 1000 Liter fallen in die Kategorie III.

Aus den Kategorien leiten sich die nach der DGRL möglichen Prüf-Module ab. Sie regeln, welche Prüfungen der Hersteller selbst durchführen kann, und welche Prüfungen durch eine unabhängige Prüfstelle („Benannte Stelle“ nach DGRL) durchzuführen sind. Die mit der Prüfung beauftragte Stelle fertigt nach erfolgreich abgeschlossener Schlussprüfung eine Konformitätsbescheinigung aus.



Bild 1 Zwei Hochdruck-Dampferzeuger liefern im Pharmawerk der B. Braun Melsungen AG bis zu 39 t/h Dampf zur Herstellung von Infusionslösungen. [Vitomax 200 HS]

Bauformen der Dampferzeuger

Dampferzeuger werden neben der Bauart durch ihre Dampfleistung und ihren zulässigen Betriebsüberdruck definiert. Zur Hochdruck-Dampferzeugung im größeren Leistungsbereich stehen im Wesentlichen zwei Bauformen zur Verfügung: Wasserrohrkessel und Flammrohr-Rauchrohr-Kessel (auch als Großwasserraumkessel bezeichnet). Bei ersterem befindet sich das Wasser in den Rohren, die vom Heizgas umströmt werden. Diese Bauform kommt bei sehr hohen Drücken von z. B. 300 bar zum Einsatz.

Solche Drücke können von Flammrohr-Rauchrohr-Kesseln prinzipbedingt nicht bereitgestellt werden. Bei ihnen strömt das Heizgas (Rauchgas) durch Rohre, die von Wasser umgeben sind (Bild 3). Je nach Größe haben diese Kessel einen zulässigen Betriebsdruck bis etwa 25 bar und liefern z. B. 25 t/h Dampf. Mit der Bauform des Flammrohr-Rauchrohr-Kessels kann die überwiegende Zahl der in industriellen Produktionsprozessen an die Dampferzeugung gestellten Anforderungen – insbesondere hinsichtlich Druck und Dampfmenge – sicher und wirtschaftlich erfüllt werden. Auch zur Erzeugung von Niederdruckdampf (bis 1 bar) kommt diese Bauform üblicherweise zum Einsatz.

Moderne Flammrohr-Rauchrohr-Kessel sind als Dreizugkessel ausgeführt, um eine schadstoffarme und damit umweltschonende Verbrennung zu erzielen. Beim Vitomax 200 HS strömen die Heizgase am Brennkammerende über eine wassergekühlte Wendekammer in den zweiten Zug. In einer weiteren Wendekammer im Bereich der Kesseltür gelangen die Heizgase in den dritten Zug, der als Konvektionsheizfläche ausgebildet ist. Da die Heizgase den Brennraum durch die hinten liegende Wendekammer verlassen und so der Flamme nicht von rückströmenden Heizgasen umschlossen wird, kann die Flamme mehr Wärme abgeben und wird da-

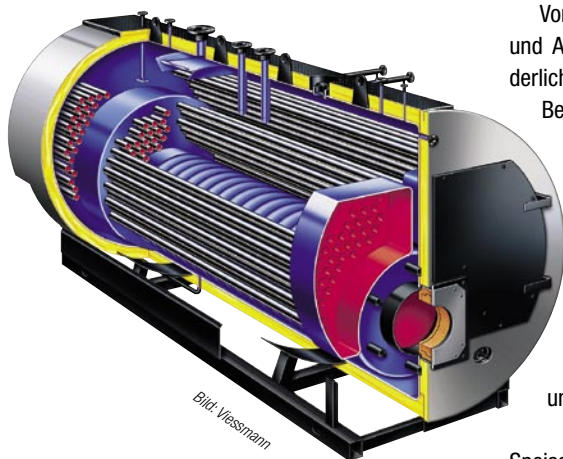


Bild 3 Flammrohr-Rauchrohr-Kessel: Das Heizgas strömt durch die Rohre (rot), das Wasser befindet sich außen (blau). [Vitomax 200 HS]

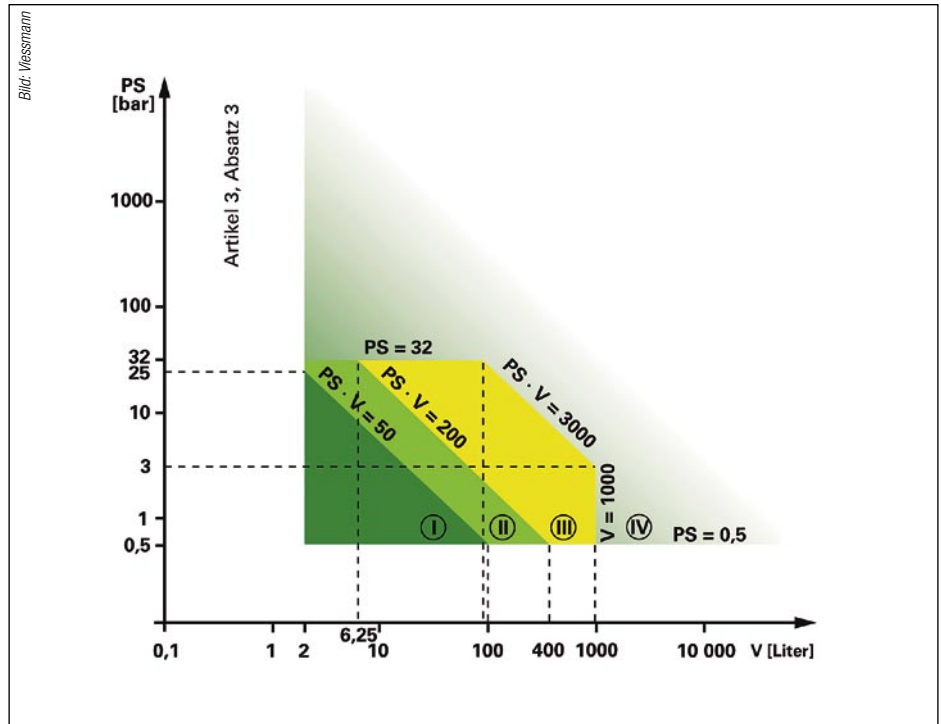


Bild 2 Konformitätsbewertungsdiagramm Nr. 5 gemäß Druckgeräterichtlinie (DGRL), die römischen Ziffern kennzeichnen die Kategorien, denen Prüf-Module zugeordnet sind.

durch kühler. Gleichzeitig ist die Verweilzeit der Heizgase in der Reaktionszone der Flamme kürzer, was die Stickoxidbildung reduziert (Bild 4).

Bestandteile einer Dampfanlage

Zum Dampferzeuger gehören die Sicherheits-, Regel-, Anzeige- und Absperrarmaturen, das Speisewasserpumpenmodul, die Feuerung (Brenner) und ein Schaltschrank zur Ansteuerung aller kesselspezifischen Regel- und Steuerungseinrichtungen. Die Auswahl dieser, dem Dampferzeuger zuzurechnenden Einzelkomponenten, richtet sich nach der vom Betreiber gewünschten Betriebsweise der Anlage und den Brennstoffen.

Von besonderer Bedeutung sind Abschläm- und Absalzventile am Dampferzeuger, die erforderlich sind, um einen dauerhaft zuverlässigen Betrieb des Dampfkessels sicherzustellen.

Im Betrieb bilden sich im Kessel Schlammablagerungen, die periodisch entfernt werden müssen. Hierzu dient ein so genanntes Abschlämventil, mit dem Druckwasser aus der unteren Kesselzone abgelassen wird. Wird dieses geöffnet, so entfernt das schnelle Ausströmen von Wasser wirksam den Schlamm aus der unteren Kesselzone (Bild 5).

Bei der Dampferzeugung bleiben die im Speisewasser gelösten Salze zurück und erhöhen die Salzkonzentration des Kesselwassers. Eine zu hohe Salzkonzentration führt zur Bildung einer Feststoffkruste, zu Kesselkorrosion und zur Schaumbildung, wobei der Schaum mit Wasser in

die Dampfanlage gelangen kann. Damit sinkt die Dampfqualität und die entstehenden Wasserstaus belasten die Armaturen. Außerdem werden die Wasserstandsregler, die den Wasserstand im Kessel sichern, in ihrer Funktion beeinträchtigt. Absalzventile haben deshalb die Aufgabe, ein Überschreiten der zulässigen Salzkonzentration zu verhindern.

Die aus dem Kessel über die Abschläm- und Absalzventile abgelassene Lauge muss in Entspannern auf einen niedrigeren Druck entspannt werden. Hierbei wird Wärme frei, die zur Bildung von Entspannungsdampf führt, der entweder weiter verwendet oder sicher über Dach abgeführt wird. Die verbleibende Lauge muss gemäß den jeweils geltenden Bestimmungen entsorgt werden. In der Regel muss dazu die Temperatur in einem Mischkühler auf 35 oder 40 °C gesenkt werden, bevor das Abwasser in Gewässer, Gruben oder Abwasserkanäle geleitet werden kann (Bild 7).

Neben dem Dampferzeuger und den genannten Einrichtungen zur Abschlämung und Absalzung besteht eine funktionsfähige Kesselanlage aus zusätzlichen Baugruppen, die gegebenenfalls für den Betrieb notwendig sind oder die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöhen. Dazu gehören im Wesentlichen: Economiser, chemische Wasseraufbereitung, thermische Wasseraufbereitung und Einrichtungen zur Kondensatbehandlung.

Economiser

Ein Economiser ist ein Abgas/Wasser-Wärmeübertrager, der im Dampferzeuger integriert oder als

separate Baugruppe hinter dem Kessel angeordnet ist (Bild 8). Bei Dampfkesseln werden solche Economiser zur Vorerwärmung des Speisewassers genutzt. Nachdem das Speisewasser den Economiser durchströmt hat, erhöht sich seine Enthalpie, was den Wirkungsgrad des Dampferzeugers um etwa 4 bis 5 % erhöht.

Aufgrund der Erfahrungen mit bereits in Betrieb genommenen Anlagen mit Economiser kann davon ausgegangen werden, dass eine Senkung der Abgastemperatur um 20 °C den Wirkungsgrad um etwa 1 % erhöht. Kesselanlagen mit Economisern werden immer öfter eingesetzt, da sich die Installationskosten schnell amortisieren.

Chemische Wasseraufbereitung

Das reinste in der Natur vorkommende Wasser ist Regenwasser. Aus der Atmosphäre und beim Versickern im Erdreich nimmt das Wasser jedoch eine Vielzahl anorganischer und organischer Stoffe auf. Die meisten Rohwässer (noch nicht aufbereitetes Oberflächen-, Brunnen- oder Trinkwasser) sind im angelieferten Zustand nicht als Kesselspeisewasser geeignet, da sie Schwebstoffe, organische Verunreinigungen, Eisen- und Manganverbindungen sowie Kalzium-Magnesium-Verbindungen enthalten.

Zu den wichtigsten Bestandteilen einer Dampferzeugungsanlage gehört deshalb eine Anlage zur kontrollierten Wasseraufbereitung (Bild 9), die stö-

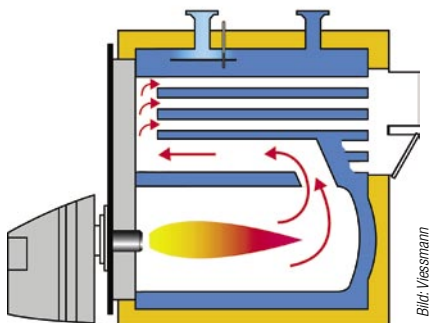


Bild 4 Schematische Darstellung der Heizgasführung in einem Dreizugkessel.

rende Bestandteile des Rohwassers entfernt und/oder durch Zugabe von Chemikalien bindet. Sie verlängert die Nutzungsdauer des Dampferzeugers, der Dampf- und Kondensatleitungen sowie der Armaturen, indem sie Abschlammlverluste reduziert, Korrosion verhindert und Steinbildung im Dampferzeuger verhütet. Die genauen Anforderungen an die Qualität des Speisewassers sind in den TRD-Richtlinien (Technische Regeln für Dampfkessel), in DIN EN 12953 „Großwasserraumkessel“ und in den Planungsunterlagen bzw. Datenblättern der Kesselhersteller definiert.

Die Art der Aufbereitungsverfahren richtet sich nach

- der chemischen Zusammensetzung des Rohwassers,
- der Qualität des Kondensats,
- der Menge des zum Kessel zurückzuführenden Kondensats,
- den Anforderungen an die Dampfqualität und
- der Absalzrate des Dampferzeugers.

Verbreitet sind drei Verfahren zur chemischen Wasseraufbereitung, von denen in Kesselanlagen mit Dreizugkesseln in den meisten Fällen zwei zum Einsatz kommen:

Enthärtung über Ionenaustausch: Die im Wasser als Ionen gelösten Erdalkalien Kalzium und Magnesium würden im Kessel unter Wärmeeinwirkung als Kesselstein ausfallen und sich auf den Heizflächen als fester, die Wärmeübertragung störender Belag ablagern. Zur Enthärtung des Wassers werden Anlagen mit Ionenaustauscherharzen eingesetzt. Beim Kontakt des Wassers mit den kugelförmigen Kunstharzen werden die im Wasser gelösten Kalzium- und Magnesiumionen gegen Natriumionen aus dem Harz ausgetauscht und so die störenden Härtebildner aus dem Wasser entfernt.

Osmoseanlagen: Bei der Osmose wird das Rohwasser mit einem Druck von ca. 30 bar durch eine Membran gedrückt. Die Poren der Membran

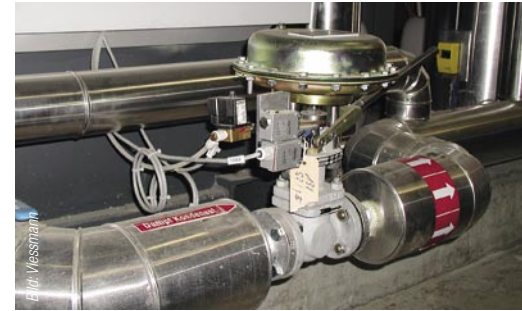


Bild 5 Automatisches Ventil zum periodischen Abschlammen des Kessels.



Bild 6 Speisewasserbehälter (oberhalb des Dampfkessels)

lassen die Wassermoleküle durch, während die gelösten Salze auf der Eintrittsseite bleiben. Die Ausbeute an entsalztem Wasser (Permeat) beträgt ca. 80 % des eingesetzten Wassers.

Thermische Wasseraufbereitung

Natürliches Wasser enthält aus der Atmosphäre aufgenommene gasförmige (gelöste) Verbindungen. Im Wesentlichen sind dies Sauerstoff, Stickstoff und Kohlendioxid, in neuerer Zeit auch zunehmend Schwefelverbindungen („Saurer Regen“). Wird das Wasser erwärmt, nimmt das Lösungsvermögen ab und ein Teil der Gase entweicht. Beim Verdampfen des Wassers (Situation im Dampfkessel) werden sämtliche gelösten Gase abgegeben. Die ursprünglich gelösten Gase gehen häufig an-

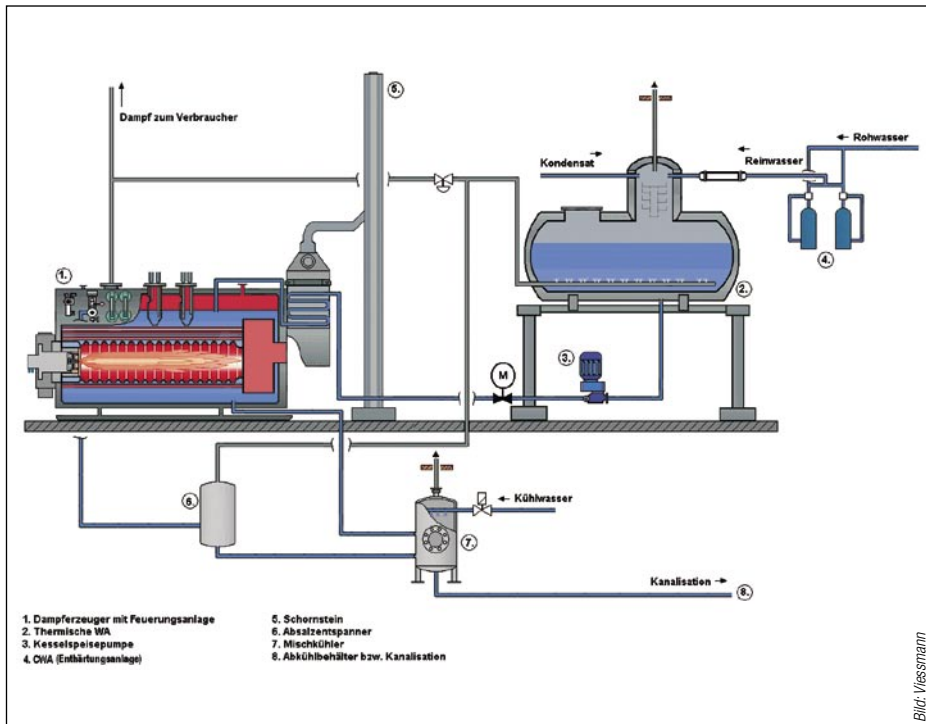


Bild 7 Typische Dampfkesselanlage mit Einrichtungen zur Wasseraufbereitung.

dere Verbindungen ein, so kann z.B. der frei gewordene Sauerstoff zu Korrosion im Kessel und in Rohrleitungen führen.

Zum Schutz des Dampfkessels werden deshalb dem Speisewasser die gelösten Gase meistens auf thermischem Wege entzogen. Je nach den Anforderungen an die Qualität des Speisewassers werden unterschiedliche Bauarten von thermischen Entgasern verwendet. Teilentgaser kommen in erster Linie in Kesselanlagen mit kleiner Leistung und niedrigen Drücken zum Einsatz. Bei der Vollentgasung wird zwischen Hochdruck-, Niederdruck- und Vakuum-Entgasungen unterschieden. Hochdruck- und Vakuumentgasung sind ein Weg, um den wärmetechnischen Wirkungsgrad einer Anlage zu erhöhen, kommen jedoch wegen der hohen Investitionskosten selten zur Anwendung.

Die Niederdruckentgasung („Thermische WA“ in Bild 7) hat sich in den weitaus meisten Anwendungen als die beste Lösung erwiesen. Das Speisewasser wird bis nahe an die Siedetemperatur erwärmt, wobei der Entgasungsprozess bei geringfügig erhöhtem Druck (ca. 0,1 bis 0,3 bar über dem atmosphärischen Druck) abläuft. Dadurch ist gewährleistet, dass der Kontakt des Speisewassers mit der Atmosphäre und die Rücklösung von Gasen ausgeschlossen sind. Zu beachten ist, dass neben dem Rohwasser auch Kondensat aus der Dampfanwendung zurück zum Kessel geführt werden kann, was ebenfalls der Entgasung zu unterziehen ist.

Die Entgasungsanlage zur Niederdruckentgasung besteht aus einem Speisewasserbehälter und dem in Form eines Domes direkt darauf montierten Entgaser. Der Speisewasserbehälter dient zur Bevorratung des entgasteten Speisewassers in

der für einen störungsfreien Betrieb der Kesselanlage erforderlichen Menge (Bild 6).

Kondensatbehandlung

Je nach den technologischen Prozessen im Bereich der Dampfanwendung kann der Dampf direkt in das Produkt oder den Prozess eingeleitet werden. In diesen Fällen wird kein Kondensat zurückgeführt. Bei der größten Anzahl der Anwendungen gibt der Dampf seine Wärme allerdings über eine Heizfläche ab und kondensiert dabei. Das Kondensat wird der Kesselanlage zur erneuten Verdampfung wieder zugeführt. Technisch werden zwei Arten der Kondensatrückführung unterschieden:

Niederdruckkondensat: Bei 90 % aller Dampfkesselanlagen wird das Kondensat über offene Kondensatbehälter zurückgeführt. Bei Kesseln mit einer Betriebstemperatur von mehr als 100 °C kommt es dabei zu einer Nachverdampfung. Es entstehen ca. 5 bis 15 % Gewichtsprozent als Nachdampf aus der Kondensatmenge. Neben dem Energieverlust treten dabei auch Wasserverluste auf, die durch die Zuführung von Frischwasser mit entsprechender Wasseraufbereitung ersetzt werden müssen. Bei offenen Anlagen nimmt das Kondensat Sauerstoff aus der Atmosphäre auf, der gegebenenfalls durch die Wasseraufbereitung wieder entfernt oder chemisch gebunden werden muss.

Hochdruckkondensat: Bei Hochdruckkondensatanlagen wird das Kondensat in einem geschlossenen System zurückgeführt (ca. 10 % der Anwendungsfälle von Dampfkesseln). Unter

diesen Bedingungen können keine Verluste durch Nachverdampfung entstehen. Gleichzeitig wird das Eindringen von Luftsauerstoff in das Kondensatsystem verhindert. Zu beachten ist, dass alle Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen und Behälter für diesen Druck auszulegen sind. Die Behälter (z.B. Kondensatbehälter, Speisewasserbehälter) sind überwachungsbedürftige Druckgefäße nach DGRL und unterliegen damit der Überwachung durch eine zugelassene Überwachungsstelle.

Durch eine optimale Kondensatwirtschaft und auch einer Nutzung des Nachdampfes lassen sich erhebliche Betriebskosten einsparen. Die Kondensate können allerdings aufgrund der technologischen Prozesse und durch Korrosionsprodukte mit Fremdstoffen belastet sein. Als typische Kondensatverunreinigungen können

- mechanische Verunreinigungen (Korrosionsprodukte),
- so genannte Härteeinbrüche (Trink- oder Brauchwasserleckagen bei Wärmeübertragern),
- Säuren- und Laugeneinbrüche (ungewollte Vermischungen bei der Beheizung von Säure- oder Laugenbädern) sowie
- Öle und Fette (Lebensmittelindustrie, Ölvrwärmer etc.)

aufzutreten. Wird das Kondensat wieder als Speisewasser verwendet, müssen die Anforderungen an die Wasserqualität eingehalten werden. Je nach Verunreinigung werden die erforderlichen Wasseraufbereitungsverfahren z.B. Filtration, Entölung, Enthärtung, Vollentsalzung vorgesehen. Bei der Planung ist zu beachten, dass die Kesselvorschriften bei einem Betrieb ohne Beaufsichtigung automatische Analysegeräte zur Kondensatüberwachung vorsehen.

Zusammenfassung

In vielen Bereichen der industriellen Produktion wird Wasserdampf als Wärmeträger oder als Träger chemischer Substanzen eingesetzt. Da sich die Eigenschaften von Dampf erheblich von denen des sonst in der Heiztechnik üblichen Wärmeträgermediums Wasser unterscheiden, werden an die Bestandteile einer Anlage zur Dampferzeugung andere Anforderungen gestellt als an eine Heizungsanlage. So kann Dampf bei gleicher Masse und Temperatur mehr als sechsmal so viel Wärme enthalten wie Wasser und der in der Regel unter Druck stehende Dampf macht besondere Vorkehrungen zur Sicherheit der Anlagen erforderlich.

Eine weit verbreitete Bauform des Dampferzeugers ist der Flammrohr-Rauchrohrkessel. Damit kann die überwiegende Zahl der in industriellen Produktionsprozessen gestellten Anforderungen sicher und wirtschaftlich erfüllt werden. In



Bild 8 Dampfkessel mit separatem Economiser (rechts). [Vitomax 200 HS]

der Ausführung als Dreizugkessel ermöglichen sie zudem eine schadstoffarme Verbrennung. Mit Hilfe eines Economisers zur Speisewasservorerwärmung kann der Wirkungsgrad des Dampferzeugers um etwa 4 bis 5 % erhöht werden.

Neben dem Dampferzeuger mit seinen Sicherheits-, Regel-, Anzeige- und Absperrarmaturen gehören Einrichtungen zur chemischen und thermischen Wasseraufbereitung sowie zur gegebenenfalls erforderlichen Kondensatbehandlung zu einer Dampfkesselanlage. Mit der Wasseraufbereitung werden störende oder schädliche Bestandteile des Rohwassers, wie z. B. Kalzium,

Magnesium, und im Wasser gelöste Gase entfernt oder chemisch gebunden, um u. a. Ablagerungen im Kessel zu verhindern. Das je nach Verwendung des Dampfes in mehr oder weniger großen Mengen anfallende Kondensat kann zur Verringerung der Betriebskosten wieder verwendet werden. Je nach den Verunreinigungen wird dann auch das Kondensat der Wasseraufbereitung zugeführt, bevor es im Kessel erneut in Dampf umgewandelt wird. ■

Dipl.-Ing. Tilman Schibel, Obering. Wolfgang Müller,
Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Rogatty, Viessmann Werke, Allendorf,
E-Mail: sbt@viessmann.com, www.viessmann.de



Bild 9 Anlage zur chemischen Wasseraufbereitung.