



BOSCH
Technik fürs Leben

Fachbericht

www.bosch-industrial.com

Vermeidbare Belastungen an Großwasserraum-Dampfkesselanlagen

Dipl. Ing. Paul Köberlein, Bosch Industriekessel GmbH

Dampfkesselanlagen unterliegen einer Reihe von Belastungen, die zu einer mehr oder minder starken Beanspruchung des Kesselkörpers führen. Hierbei sind neben unzureichender Wasserqualität zwei Hauptfaktoren maßgeblich: Einflüsse durch Auslegung und Einstellung sowie Einflüsse von Verbraucherseite. Der folgende Beitrag beschreibt die vermeidbaren Belastungen für Kesselanlagen und ermöglicht dem Leser einen Einblick in die ordnungsgemäße Planung, Ausführung und Einstellung bis hin zum Betrieb der Anlagen.

Sattdampf findet heute als Wärmeträgermedium in einer Vielzahl von gewerblichen und industriellen Unternehmen aller Branchen Verwendung. In der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie werden Aufheiz-, Koch- aber auch Reinigungsprozesse unterstützt, die Textilbranche nutzt den Wärmeträger vor allem zur Weiterverarbeitung und Veredelung von Stoffen, Wäschereien und Textilreinigungen beheizen Waschmaschinen oder nutzen den Dampf für Glättungs- und Trocknungsvorgänge. In Krankenhäusern werden mit Reinstdampf Operationsbestecke sterili-

siert, eine angeschlossene Großküche versorgt oder der Dampf für die Luftbefeuchtung der Klimaanlage verwendet. Die Baustoffindustrie benötigt Sattdampf für viele Prozess-, Heiz- und Trocknungsvorgänge, wie zum Beispiel bei der Autoklavierung von Kalksandsteinen. Aber auch in vielen anderen Branchen, wie zum Beispiel der Papier- und Kartonagenindustrie, der chemischen Industrie, der Pharmaindustrie und in vielen weiteren Bereichen ist Dampf als Wärmeträger nicht wegzudenken.

Der größte Anteil dieser Dampfanwendungen benötigt Satttdampf oder leicht überhitzten Dampf mit Leistungen bis zu 200 t/h, Drücken bis 30 bar und Dampftemperaturen bis 300 °C. Zur Dampferzeugung werden üblicherweise ein oder mehrere gas- oder ölbefeuerte Dampfkessel in der Konstruktion als Großwasserraumkessel eingesetzt. Im Vergleich zu Wasserrohrkesselsystemen sind diese in der angesprochenen Leistungsbandbreite meist die bessere Alternative, weil in der Regel die Anschaffung und der Betrieb kostengünstiger sind.

Der Betrieb moderner Großwasserraum-Dampfkesselanlagen ist heutzutage als unproblematisch zu betrachten. Dennoch unterliegen die Kessel oft einer Reihe von eigentlich vermeidbaren Belastungen, die einen entscheidenden Einfluss auf Sicherheit und Lebensdauer der Energieerzeuger haben. Hierbei sind neben unzureichender Wasserqualität zwei Hauptfaktoren maßgeblich: Einflüsse durch Auslegung und Einstellung sowie Einflüsse von Verbraucherseite.

Unzureichende Wasserqualität

Unzureichende Wasserqualität mit der Folge von Korrosionen beziehungsweise Belagbildungen steht an erster Stelle in den Schadensstatistiken. Die bei dieser Schadensart ablaufenden Mechanismen gelten als allgemein bekannt, es wird daher in diesem Fachbericht nicht näher darauf eingegangen. Häufige Ursachen für eine „schlechte“ Wasserqualität sind:

- ▶ unzureichende Überwachung beziehungsweise Prüfung der erforderlichen Wasserparameter (Bild 1)
- ▶ mangelnde Fachkenntnis
- ▶ Fehlinterpretation von Messwerten beziehungsweise keine Reaktion bei Abweichungen

Zur Vermeidung von Schäden durch unzureichende Wasserqualität ist in erster Linie die Einhaltung der vom Kesselhersteller vorgegebenen Wasserwerte (entsprechend EN 12953 Teil 10) erforderlich. Hierzu



Bild 1: Folgen einer mangelhaften Härteüberwachung

muss, neben dem Einsatz geeigneter Wasseraufbereitungskomponenten, auch auf ausreichende Kompetenz im Bereich Wasseranalyse gesorgt werden. Empfohlen wird, ein vollautomatisches Analysegerät zu installieren, welches alle Wasserparameter wie Härte, Leitfähigkeit, pH-Wert und Kondensatreinheit erfassen und überwachen kann (Bild 2). Siehe hierzu auch den Fachbericht „Moderne Wasseraufbereitung und Wasseranalytik“.

Einflüsse durch Auslegung und Einstellung

Zu große Kesselleistung im Verhältnis zur tatsächlich benötigten Dampfleistung

Diese Problematik ist oft in Altanlagen zu finden, deren Dampfverbrauch durch den Wegfall von Verbrauchern oder der nachträglichen Nutzung vorhandener Wärmerückgewinnungspotentiale drastisch reduziert wurde. Aber auch Neuanlagen können betroffen sein, wenn während der Planung die Gleichzeitigkeitsfaktoren der Verbraucher falsch bewertet wurden oder mit allzu üppigen Leistungsreserven kalkuliert wurde. Die Folge ist eine in Bezug auf die Kesselleistung zu geringe Dampfabnahme und somit eine hohe Anzahl von Brennein- und -ausschaltungen. Dadurch werden Temperaturwechsel verursacht, die insbesondere bei Kesselanlagen mit Gasfeuerung und langen Vorluffzeiten extrem sein können. Brenner erzeugen im Feuerraum Tempera-

turen zwischen 1 400 und 1 700 °C. Während der Phase der Feuerraumvorlüftung, welche vor jedem Zündvorgang des Brenners vorgeschrieben ist, wird Frischluft aus dem Kesselhaus angesaugt. Durch die niedrigen Lufttemperaturen von 20 bis 30 °C findet eine Kühlung der heißen Heizflächen statt. Anschließend zündet der Brenner und bekommt meist sehr schnell das Signal, in die höchste Laststufe zu fahren. In extremen Schwachlastphasen wird der Brenner sehr häufig bereits während des Hochlaufens wieder abgeschaltet, um dann – oft kurz danach – wieder vorzulüften und zu zünden.

Durch diese dauernde Temperaturwechselbeanspruchung zwischen Aufheizen und Durchlüften, kommt es zu Dehnungsunterschieden zwischen Feuerraum und Kesselmantel, welche im Laufe der Zeit zu Materialermüdungen führen können. Neben steigender Schadensanfälligkeit hat diese Betriebsweise auch einen negativen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit, da jeder Vorlüftungsvorgang einen erheblichen Wärmeverlust darstellt.

Daher sind Brenneinschaltzyklen ≤ 4 je Stunde anzustreben. Um dies zu erreichen, empfiehlt sich

- ▶ der Einbau von Schwachlaststeuerungen, die das sofortige Hochregeln nach Brennerstart zeitlich verzögern
- ▶ der Einsatz von Leistungsreglern die ermöglichen,



Bild 2: Moderne Dampfkesselanlage mit vollautomatischer Wasseranalyse und Überwachung

den Brenner zeitlich unbegrenzt in der Kleinlaststufe festzuhalten

- ▶ der Einsatz von Brennern mit hohem Regelbereich
- ▶ die Anpassung der Brennerleistung an die tatsächlichen Anforderungen (das heißt Brennermodifikationen oder auch Anbau eines Brenners mit kleinerem Leistungsbereich)

Zu geringe Druckdifferenz zwischen Brennein- und -ausschaltung

Die Leistungsregelung des Dampfkessels erfolgt bekanntermaßen über den im Kessel gemessenen Dampfdruck. Wird der einstellbare Dampfdruck $P_{\text{Brenner.ein}}$ unterschritten, erfolgt eine Brenneinschaltung – bei Überschreitung $P_{\text{Brenner.aus}}$ eine Abschaltung des Brenners.

Eine zu gering eingestellte Spreizung zwischen $P_{\text{Brenner.ein}}$ und $P_{\text{Brenner.aus}}$ hat folgende Konsequenzen:

- ▶ Häufiges Ein- und Ausschalten durch Überschwingen des Druckes und damit zu den beschriebenen Temperaturwechselbeanspruchungen und deren negativen Folgen.
- ▶ Zwangsweise „scharf“ eingestellte Regelparameter im Leistungsregler, um den Sollwert im engen Regelband zu halten. Das Ergebnis ist neben einem

hohen Verschleiß an den Stellgliedern im Brenner eine vorzeitige Materialermüdung der beheizten Wandungen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass mit einer eingestellten Spreizung von 10 bis 15 % zwischen $P_{\text{Brenner.ein}}$ und $P_{\text{Brenner.aus}}$ (abhängig von der Brennerregelung und dem Kesselbetriebsdruck) bezogen auf den Kesselabsicherungsdruck, diese Probleme sicher vermieden werden.

Zu „schnell“ eingestellte Leistungsregler

Moderne Feuerungsmanager haben die Möglichkeit, die Brennerstellzeit, das heißt die Laufzeit zwischen Brennerkleinlast- und -großlaststellung, variabel einzugeben. Gleichzeitig kann über die Regelparameter im Leistungsregler die Reaktionsgeschwindigkeit des Brenners auf Sollwertabweichungen beeinflusst werden. Großwasserraumkessel mit ihrem hohen Materialanteil und großen Wasserinhalt sind ein vergleichsweise träge reagierendes System. Zu „schnell“ eingestellte Leistungsregler, eventuell im Verbund mit sehr kurz eingestellten Brennerstellzeiten, führen zu schnell steigendem Wärmeeintrag im Flammrohr. Für den Abtransport dieses Wärmeeintrags sind auf der Wasserseite vor allem die sich bildenden und in den

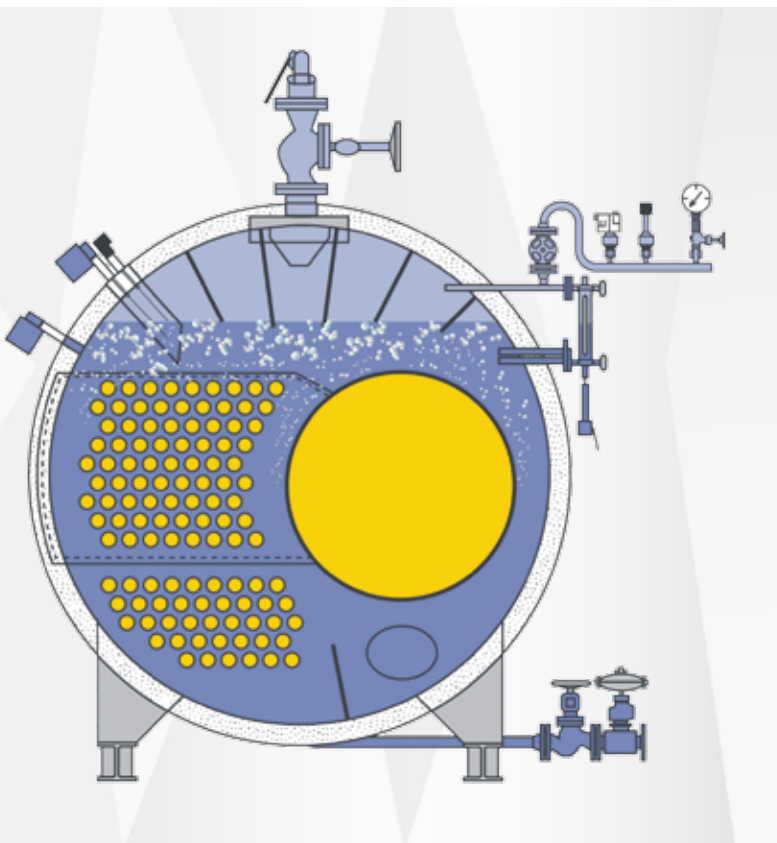


Bild 3: Schematische Darstellung des Wärmeabtransports an den hoch belasteten Heizflächen durch Dampfblasenbildung

Dampfraum hochsteigenden Dampfblasen zuständig (Bild 3). Diese Dampfblasenbildung erfolgt aber zeitlich leicht versetzt. Die Folgen sind kurzzeitige, örtliche Überhitzungen und zusätzliche Temperaturwechselbeanspruchungen, die langfristig eine Materialermüdung im Bereich der beheizten Kesselwandung beschleunigen.

Eine Inbetriebnahme mit Einstellung von Feuerungen und Regelverhalten durch Fachpersonal ist dringend zu empfehlen.

Fehlendes Folgesteuerungskonzept bei Mehrkesselanlagen

Werden Mehrkesselanlagen nicht mit einer automatischen Folgesteuerung ausgerüstet, kommt der Bedienungsmannschaft große Bedeutung zu. Sie muss Kessel abschalten, wenn die Leistungsabnahme den Betrieb mehrerer Kessel nicht mehr rechtfertigt. Geschieht dies nicht, sind die Folgen beispielhaft in Grafik 1 dargestellt. Die Aufzeichnung zeigt, dass über den gesamten Zeitraum der erforderliche Dampfbedarf (blau) alleine von Kessel 1 (rot, mit einer Leistung von 10 t/h) abgedeckt werden kann. Die häufigen Zuschaltungen von Kessel 2 (grün) mit den angesprochenen Temperaturwechselbeanspruchungen sind somit völlig überflüssig.

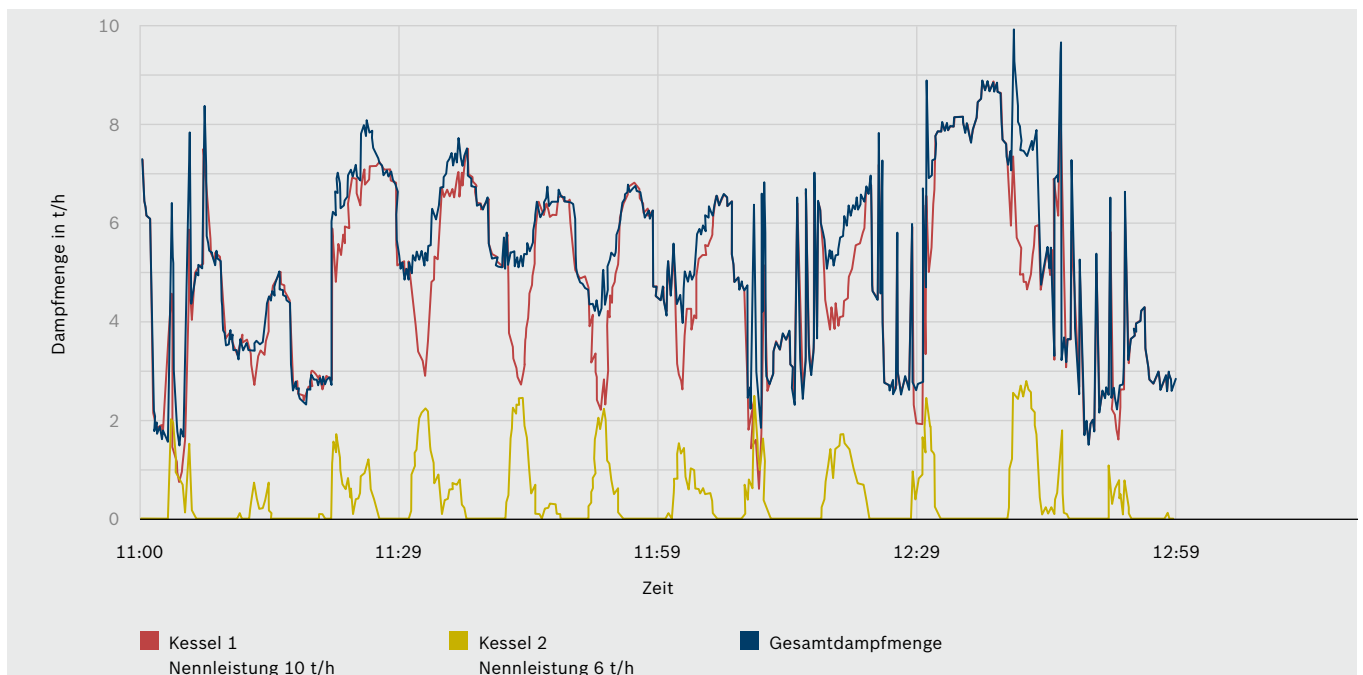
Weiterhin lässt sich die gegenseitige Beeinflussung

der beiden Kessel erkennen. Während Kessel 1 (rot) seine Leistung reduziert, erhöht Kessel 2 (grün) die Dampfproduktion und umgekehrt, das heißt, die Kessel arbeiten „gegeneinander“ und drücken sich wechselweise ab. Der ungehinderte Wärmeabtransport von den Heizflächen kann nicht mehr garantiert werden.

Ein Folgesteuerungskonzept ist daher bereits für Kesselanlagen mit zwei Dampferzeugern anzuraten und zwingend erforderlich bei drei oder mehr Kesseln in einem Kesselhaus. Welche Art der Folgesteuerung (mengen- oder druckabhängige Zu- und Abschaltung der Kessel) zum Einsatz kommt, ist zum einen von der Kesselanzahl und zum anderen davon abhängig, welche Druckschwankungen auf Verbraucherseite akzeptiert werden können. Mit dampfmengenabhängigen Folgesteuerungen kann die realisierbare Druckschwankungsbandbreite deutlich niedriger gehalten werden.

Zu beachten ist auch:

- ▶ Dampferzeuger in Mehrkesselanlagen müssen hydraulisch voneinander entkoppelt werden, um gegenseitige Beeinflussung zu unterbinden (zum Beispiel durch Rückschlagarmaturen)
- ▶ Bereits bei der Planung sollte berücksichtigt werden, dass Folgekessel mit einer Bodenheizschlange ausgerüstet werden, um Temperatur



Grafik 1: Aufzeichnung der Dampfleistung in einer Kesselanlage mit 2 Dampferzeugern ohne Folgesteuerungskonzept

schichtungen des Kesselwassers während der Warmhaltephase zu vermeiden.

Einflüsse von Verbraucherseite

Häufiges Anfahren aus kaltem Zustand

Das Anfahren aus dem kalten Zustand stellt die größte mechanische Belastung für den Kesselkörper dar (siehe „Kaltstart von Großwasserraumkesseln“). Grund dafür ist der größere Temperaturunterschied zwischen Flammrohr und Kesselmantel beim Kaltstart, im Vergleich zum Regelbetrieb bei Betriebstemperatur. Der Flammrohrschub (Differenz zwischen Längenänderung Kesselmantel und Flammrohr) ist während des Anfahrprozesses höher und führt damit zu erheblichen, zusätzlichen Spannungen, die der Kesselkörper bewältigen muss. Verstärkt wird diese Belastung noch, wenn während der Anfahrprozedur keine oder nur eine sehr geringe Dampfblasenbildung stattfinden kann, was zum Beispiel bei geschlossener Dampfentnahmemarmatur der Fall ist. Der im Dampfkessel normal vorhandene Naturumlauf springt nicht

an (Bild 4). Temperaturschichtungen im Kessel (unten kalt, oben heiß) mit zusätzlichen Wärmespannungen sind die Folge. Bei sehr häufigen Kaltstarts können diese extremen Wechselbelastungen zu Materialanrisen, beziehungsweise im schlimmsten Falle zu einem Komplettversagen führen.

Zur Reduzierung der Anfahrbelastung ist zu beachten:

- ▶ Aus dem kalten Zustand bis auf Betriebstemperatur sollte mit möglichst kleiner Brennerlast angefahren werden.
- ▶ Während des Anfahrvorgangs sollte ständig eine geringe Menge Dampf abströmen können, um den Naturumlauf durch Dampfblasenauftrieb zu starten.
- ▶ Ideal wäre eine Ausrüstung mit automatischer Anfahrschaltung, die in Abhängigkeit von Wassertemperatur und Druck den Brennerbetrieb und die Lastabnahme so regelt, dass die Belastungen auf ein niedriges Niveau reduziert werden.

Lange Zeiträume in Stand-by-Betrieb

Während des Warmhalte- oder Stand-by-Betriebes (zum Beispiel im Mehrkesselbetrieb, wenn der Folgekessel nicht benötigt wird) ist bei diesem Kessel

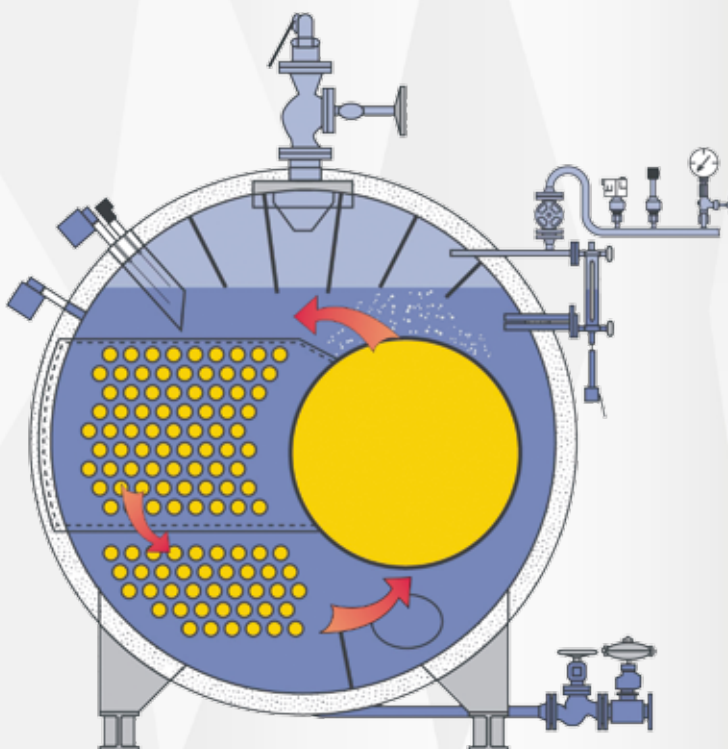


Bild 4: Schematische Darstellung des sich innerhalb des Kessels bildenden Naturumlaufs

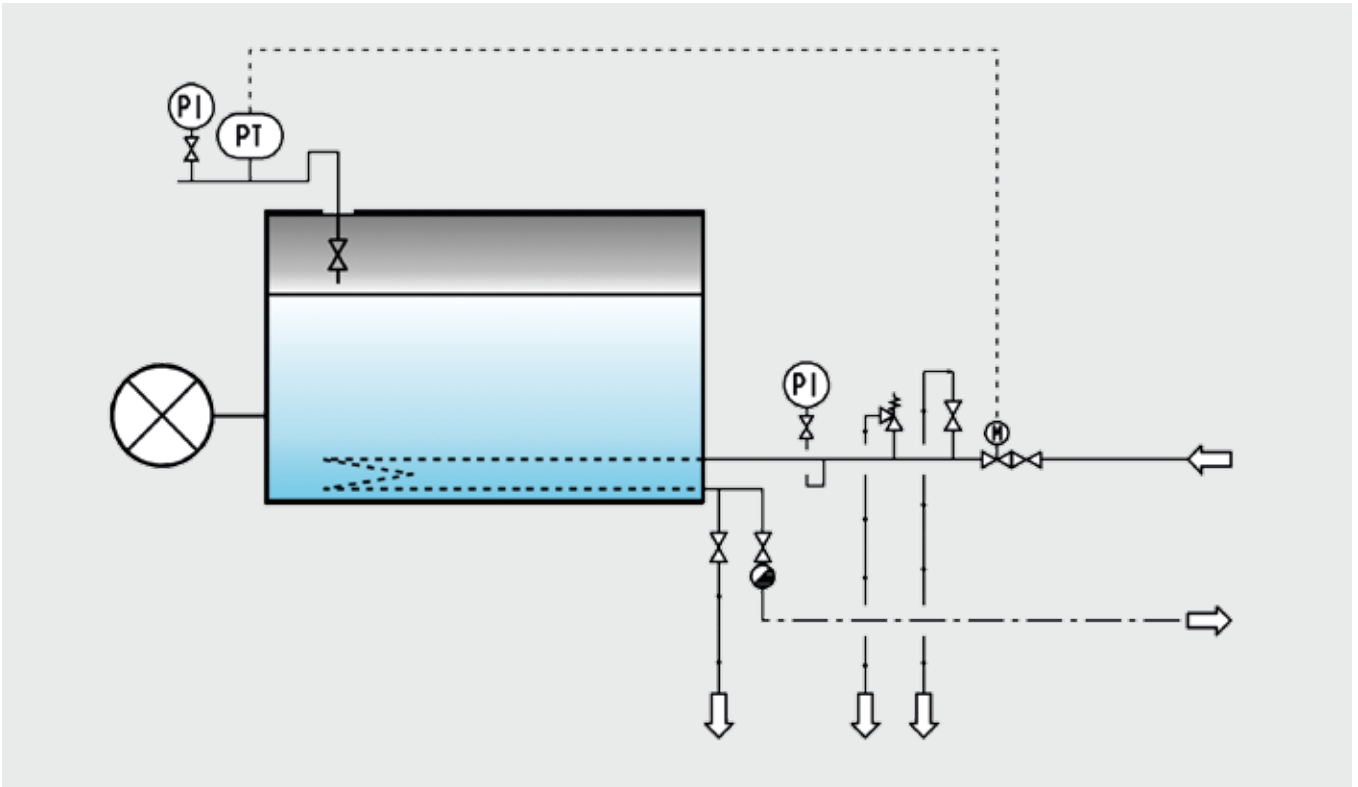


Bild 5: Schematische Darstellung einer geregelten Bodenheizschlange

jegliche Dampfabgabe unterbunden. Je nach Steuerungskonzept wird hierzu entweder die Dampfentnahmemarmatur geschlossen oder der Folgekessel auf einen geringeren Druck, als der herrschende Netzdruck, gefahren. Die Feuerungen schalten in dieser Betriebsart nur noch sporadisch zu, um Verluste durch Wärmeleitung und -strahlung auszugleichen. Wird dieser Zustand über einen längeren Zeitraum (> 3 Tage) aufrechterhalten, beginnt sich im Kessel eine Temperaturschichtung einzustellen. Werden derart warmgehaltene Kessel wieder in den Normalbetrieb geschaltet, täuscht der hohe Betriebsdruck (heißer oberer Bereich) einen sofort verfügbaren Kessel vor. Die Kesselsteuerung wird diesen dann bei entsprechendem Bedarf in sehr kurzer Zeit mit hoher Brennerlast beaufschlagen. Bedingt durch die Temperaturschichtungen im Kessel treten dann extreme Wärmespannungsbelastungen auf.

Abhilfe kann durch Einbau von Warmhalteheizschlangen im Kesselboden geschaffen werden (Bild 5). Die Dampfbeheizung dieser Heizschlange erfolgt von unten, wodurch schädigende Temperaturschichtungen im Kessel sicher vermieden werden. Damit diese Lösungsvariante eingesetzt werden kann, ist jedoch eine Mehrkesselanlage beziehungsweise eine sichere Fremddampfversorgung notwendig.

Druckschwankungen durch starke Abnahmeschwankungen

Bei starken Laständerungen, das heißt hohen Laständerungsgeschwindigkeiten und damit einhergehenden starken Druckschwankungen, können im Kessel ungünstige Strömungszustände eintreten. Die für Abfuhr der Wärme von den Heizflächen erforderliche Dampfblasenbildung kann stagnieren, beziehungsweise zur Verbindung vieler kleiner Blasen zu größeren Dampfblasen führen, welche sich nicht sofort von den Heizflächen ablösen und somit örtliche Überhitzungen begünstigen. Aus diesem Grund sollten bei Kesselanlagen, welche Verbraucher mit extrem schwankender Lastabnahme versorgen, besondere Vorkehrungen getroffen werden, um im Kessel die Druckschwankungen, unabhängig von der Verbraucherseite, zu begrenzen. Erreicht werden kann dies zum Beispiel durch:

- ▶ Eine höhere, druckseitige Kesselabsicherung und Einbindung einer Reduzierstation zwischen Kessel und Verbraucher.
- ▶ Einbindung eines Dampfspeichers für Lastspitzen.
- ▶ Eine dem Kessel nachgeschaltete Druckhaltung mit geregelter Dampfentnahmeventil, um den Kessel vor zu starkem Druckabfall zu schützen.

Zusammenfassung

Die genannten, vermeidbaren Ursachen für Kesselbelastungen zeigen auf, dass es sich hier um einen komplexen Themenkreis handelt. Dieser erstreckt sich von der Planung über die Ausführung und Einstellung bis hin zum Betrieb der Anlagen. Eine abschließende Erörterung aller relevanten Probleme ist in diesem Rahmen nicht möglich.

Aufgrund der Sachkomplexität von Dampfkesselanlagen sollten folgende Punkte unbedingt beachtet werden:

- ▶ Die Planung von Dampfkesselanlagen sollte nur von versierten und erfahrenen Fachfirmen durchgeführt werden, da viele der möglichen Fehlerquellen bereits im Vorfeld vermieden werden können.
- ▶ Die Qualität der eingesetzten Kessel, Brenner und Kesselanlagenkomponenten spielen eine entscheidende Rolle für einen reibungslosen und störungsfreien Betrieb der Anlage.
- ▶ Die korrekte Installation der Anlage erfordert einen kompetenten Anlagenbauer mit Kenntnis über das Zusammenspiel der verschiedenen Kesselhauskomponenten.
- ▶ Die Betriebsweise und Betreuung durch das Bedienungspersonal haben große Bedeutung und wirken sich entscheidend auf die Lebensdauer der Dampfkesselanlage aus.
- ▶ Von erheblichem Vorteil ist immer ein Wartungs- und Fernservicevertrag mit dem Kesselhersteller.

Bosch Industriekessel GmbH

Nürnberger Straße 73
91710 Gunzenhausen
Deutschland
Tel. +49 9831 56253
Fax +49 9831 5692253
vertrieb-de@bosch-industrial.com
Service-Hotline +49 180 5667468*
Ersatzteil-Hotline +49 180 5010540*

Bosch Industriekessel Austria GmbH

Haldenweg 7
5500 Bischofshofen
Österreich
Tel. +43 6462 2527310
Fax +43 6462 252766310
vertrieb-at@bosch-industrial.com
Service-Hotline +43 810 810300**
Ersatzteil-Hotline +49 180 5010540*

info@bosch-industrial.com

www.bosch-industrial.com

www.bosch-industrial.com/YouTube

*0,14 Euro/Min. aus dem deutschen Festnetz; Mobilfunkhöchstpreis 0,42 Euro/Min.

**max. 0,10 Euro/Min. aus dem österreichischen Festnetz

Kosten für Anrufe aus den Mobilfunknetzen und internationale Verbindungen können abweichen.

© Bosch Industriekessel GmbH | Abbildungen nur beispielhaft |

Änderungen vorbehalten | 10/2017 | TT/MKT-CH_de_FB_Vermeidbare-DK_03