



BOSCH

Großwasserraum- Dampfkesselanlagen

Lösungen zur Energie-, Kosten- und
Emissionseinsparung

Markus Tuffner, Dipl.-Wirtschaftsing. (FH), Dipl.-Informationswirt (FH)

Abb. 1: Energieeffizienter Bosch Dampfkessel Universal UL-S mit integriertem Economiser und Brennwertwärmetauscher

Die Lebenserwartung einer Kesselanlage liegt zwischen 20 und 40 Jahren. Typische Effizienzgewinne bei Tausch oder Modernisierung von Altanlagen betragen je nach Ausgangslage zwischen 10 und 30 %. Bei heutigen Brennstoffkosten amortisieren sich selbst umfangreiche Maßnahmen oft in kürzester Zeit.

ENERGETISCHE OPTIMIERUNGSPOTENTIALE DER KESSEL-/BRENNERKOMBINATION

Bilanziert man einen Dampfkessel bei einer vorgegebenen Last über die eingehenden und ausgehenden Stoff- und Energieströme, wird schnell der Anteil an nicht nutzbarer Energie ersichtlich. Zugeführt werden Brennstoff, Verbrennungsluft, Speisewasser und elektrische Leistung (Pumpen und Gebläse). Neben der nutzbaren Wärmeenergie, die im Dampf enthalten ist, sind als weitere Ausgangsgrößen der Bilanz Rauchgase mit einem bestimmten Temperaturniveau und Sauerstoffgehalt, eventuell unverbrannte Brennstoffbestandteile, Absalz- bzw. Abschammverluste und Verluste durch Wärmestrahlung und Wärmeleitung an der Kesseloberfläche zu verzeichnen.

Durch geeignete Maßnahmen können die anfallenden Verluste minimiert werden.

REDUZIERUNG ABGASVERLUST

Economiser und Brennwertwärmetauscher

Die Energiezufuhr einer konventionellen Dampfkesselanlage erfolgt durch die Verbrennung eines Brennstoff-Luft-Gemischs. Über Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Konvektion geben die Heizflächen (Flammrohre und Rauchrohre) die Wärme an den Wasserinhalt des Kessels ab. Die im Brennstoff enthaltene Energie wird hierbei nicht zu 100 % übertragen. Die Rauchgase haben demzufolge Temperaturen, die über der Mediumtemperatur des Kessels liegen.

Um das erhebliche Wärmepotential zu nutzen, besteht die Möglichkeit, den

Kesseln Economiser und oft auch Abgaskondensatoren nachzuschalten. Diese kühlen die heißen Rauchgase auf ein bestimmtes Temperaturniveau ab und heizen im Gegenzug das Speisewasser oder sonstige Niedertemperaturwässer vor. Bei trockener Fahrweise werden die Abgase lediglich auf ein Temperaturniveau über der Kondensationstemperatur der Rauchgase abgekühlt.

Die enthaltene Kondensationsenergie wird also nicht genutzt. Brennstoffkosteneinsparungen von bis zu 7 % sind bei Volllast realisierbar.

Wird die Abgastemperatur unter die Kondensations-Temperatur gesenkt, so kann zusätzlich die Kondensations-Energie genutzt werden. Hier ist unter den richtigen Rahmenbedingungen in der Praxis ein Einsparungspotential von bis zu weiteren 7 % möglich (Abb.2).

Ist die Kondensatrate der Dampfkesselanlage gering ($< 50\%$), so ist der benötigte, kalte Zusatzwasservolumenstrom üblicherweise ausreichend, um die Rauchgaskondensation zu nutzen.

Bei hohen Kondensatraten ist der benötigte Zusatzwasservolumenstrom sehr klein. Sofern aber ein geeigneter, härtefreier Niedertemperaturwasserkreislauf zur Verfügung steht, kann die Brenntechnik dennoch genutzt werden. Die Verwendung der frei werdenden Kondensations-Wärme kann beispielsweise zur Brauchwassererwärmung oder Heizungsunterstützung erfolgen.

Luftvorwärmung

Bei neu zu errichtenden Anlagen mit Economiser bietet sich auch die Luftvorwärmung als wirkungsgradsteigernde Maßnahme an, wenn die Einbindung eines Abgaskondensators prozessbedingt nicht realisierbar ist. Bei diesen Systemen wird die Abgastemperatur durch Vorwärmung der Verbrennungsluft reduziert.

Es stehen unterschiedliche Ausführungen am Markt zur Verfügung. Bosch bietet ein standardisiertes Luftvorwärmersystem für Ein- oder Zweiflammrohr-

kessel mit Duoblock-Brennern an. Wirtschaftlich sinnvoll ist dieses System ab Kesselleistungen von ca. 5 t Dampf pro Stunde (Abb.3).

WÄRMEVERLUSTE DURCH ABSALZ- UND ABSCHLAMMWASSER

Prinzipbedingt kommt es im Kesselwasser eines Dampfkessels zu einer Aufkon-

zentration aller nicht dampfflüchtigen Stoffe, wie z.B. Salze. Bei einem zu hohen Salzgehalt kommt es zu Problemen, wie dem Aufschäumen des Kesselwassers und seinen negativen Folgen bezüglich Dampfqualität, Wassermitteln oder unkontrollierten Wassermangel- bzw. Hochwasserstands-Abschaltungen.

Aufgrund dessen darf der Salzgehalt des Kesselwassers eine definierte Grenze nicht überschreiten. Zur Bestimmung des Salzgehalts wird die Leitfähigkeit des Kesselwassers gemessen. Abhängig von dieser Messgröße öffnet ein Absalzregelventil und das mit Salzen aufkonzentrierte Kesselwasser wird nach außen geleitet. Über die normale Speiswasserregelung wird der Kessel wieder mit Speiswasser versorgt. Die Leitfähigkeit im Kesselwasser sinkt bzw. wird auf dem erlaubten Niveau gehalten.

In vielen Anlagen wird die Absalzlauge in den Abschlammbehälter geführt, wobei diese entspannt. Der entstehende Entspannungsdampf verlässt den offenen Abschlammbehälter über Dach. Die zurückbleibende Absalzlauge mit 100°C muss daraufhin auf Kanal-Einleittemperatur (Deutschland 35°C) durch Beimischen von Frisch- oder Zusatzwasser gekühlt werden. Der komplette Energiegehalt der Absalzlauge geht also verloren. Zusätzlich muss noch Frisch- oder

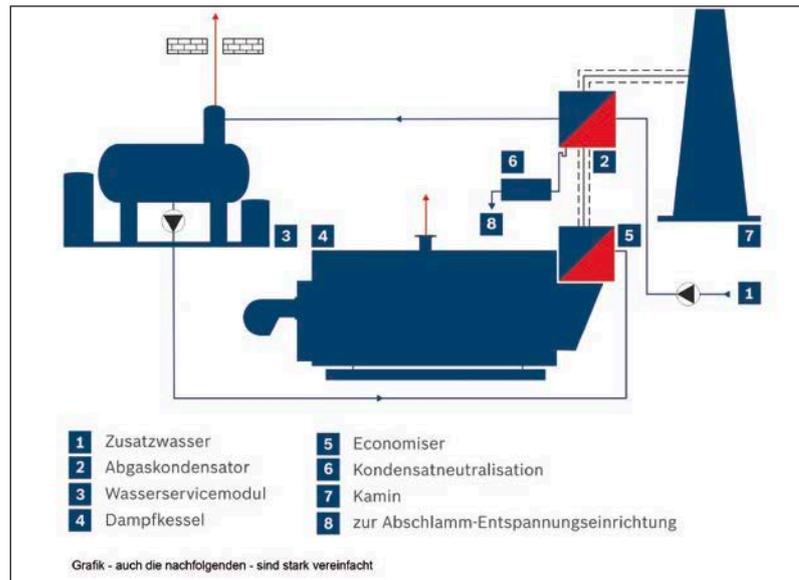


Abb.2: Blockschaltbild einer Hochdruck-Dampfkesselanlage mit zwei Abgas-Wärmetauscherstufen (Economiser/Abgaskondensator)

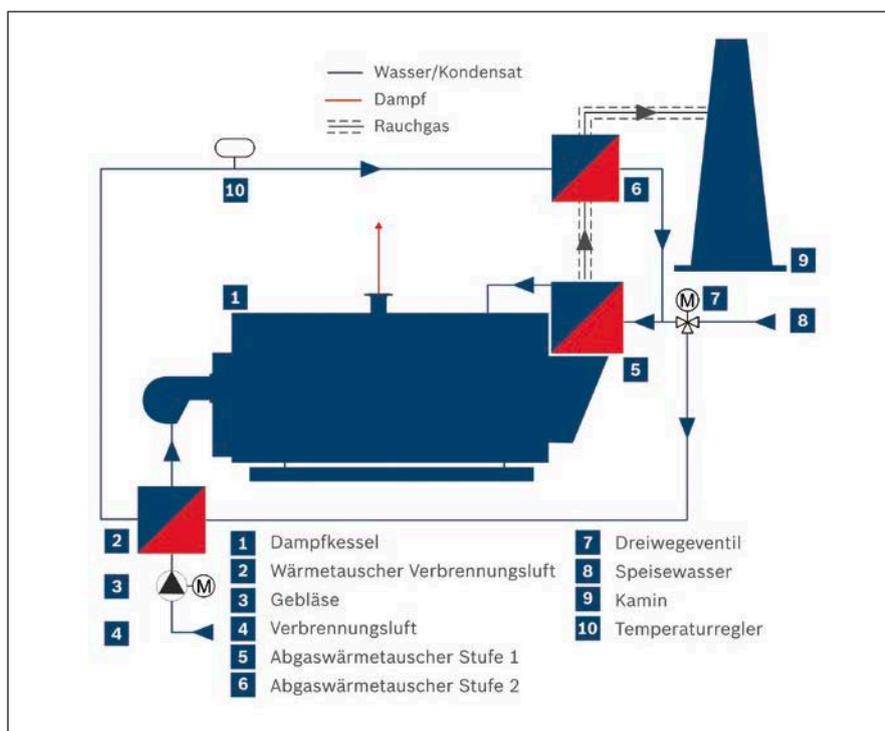


Abb.3: Blockschaltbild Bosch Luftvorwärmersystem

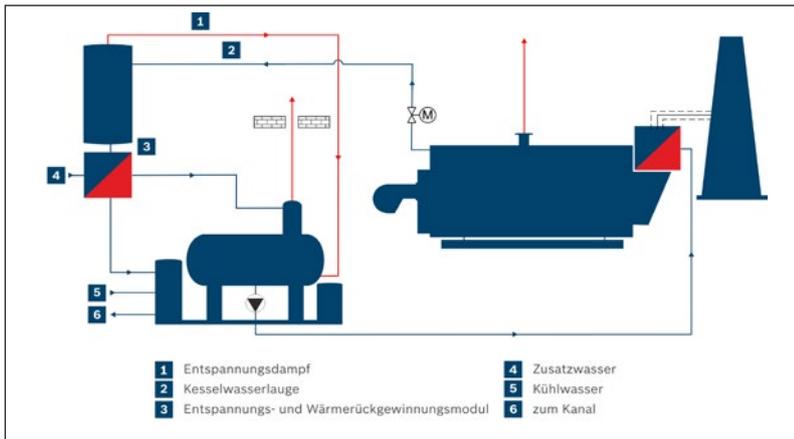


Abb.4: Schematische Darstellung von Laugenentspannung und -kühlung

Zusatzwasser aufgewendet werden. Der Energiegehalt des Absalzwassers ist noch enorm – je höher der Betriebsüberdruck desto höher die Temperatur und somit der Energieverlust. Ein Großteil dieses Wärmeverlustes kann durch ein kompaktes Modul zurückgewonnen werden. Es entspannt die heiße Kesselwasserlauge – der dabei entstehende Entspannungsdruck unterstützt die Aufheizung des Speisewassers. Ein nachgeschalteter Wärmetauscher kühlt die zurückbleibende Lauge auf Kanal-Einleittemperatur. Die anfallende Wärme wird zur Vorwärmung des Zusatzwassers genutzt (Abb.4).

REDUZIERUNG DER ELEKTRISCHEN LEISTUNGS-AUFNAHME DURCH DREHZAHLGEGEDELTE BRENNER-GEBLÄSE

Für eine vollständige Verbrennung ist ein optimales Brennstoff-Luft-Gemisch notwendig. Industriekesselanlagen werden häufig im Teillastbetrieb gefahren. Hier wird sowohl die Brennstoff- wie auch die Luftzufuhr reduziert.

Ein Verbrennungsluftgebläse ohne Drehzahlsteuerung läuft aber auch in Teillastbereichen auf 100 % seiner Drehzahl. Die zugesteuerte Luftmenge für die Verbrennung wird rein über Luftklappen geregelt. Es erfolgt eine hohe elektrische Leistungsaufnahme, die nutzlos verpufft. Wird die Luftmenge vorwiegend durch eine Modulation der Drehzahl des Gebläses verändert, so ist die Leistungsaufnahme in Teillastbereichen sehr viel geringer. Analog zur Reduktion der Leistungsaufnahme verhält

sich auch die Geräusentwicklung. Bei allen Anlagen, die häufig und lange in Teillastbereichen betrieben werden, ist eine Ausrüstung mit drehzahlgeregelten Gebläsen sinnvoll.

REDUZIERUNG FEUERUNGS-SEITIGER VERLUSTE DURCH ZU HOHEN LUFTÜBERSCHUSS

Das Ideal in der Verbrennungstechnik ist die stöchiometrische Verbrennung. Das ist der Fall, wenn alle Brennstoff-Moleküle vollständig mit dem Luftsauerstoff reagieren. Zu wenig Luftsauerstoff erzeugt Kohlenmonoxid – ein hochgiftiges Gas. Zu viel Luftsauerstoff bedeutet Energieineffizienz. Eine bestmögliche Brenner-einstellung ist also wünschenswert.

Bedingt durch Luftdruck, Lufttemperatur und Luftfeuchteschwankungen auf der einen Seite und Schwankungen der Brennstoffqualität auf der anderen Seite, muss im Vergleich zum theoretischen Optimum als Sicherheit ein gewisser Luftüberschuss eingestellt werden.

Um die Anlagen näher an dem optimalen Betriebspunkt betreiben zu können, sind kontinuierliche Mess- und Regeleinrichtungen notwendig. Eine O₂-Regelung besteht im Wesentlichen aus einer im Abgasstrom installierten Sauerstoffmesssonde nebst Regelgerät.

Sie erfasst kontinuierlich den Restsauerstoffgehalt im Abgas und gibt das Signal an die Brennersteuerung weiter, welche die erforderliche Luftmenge nachjustiert. Seit einigen Jahren sind ebenfalls Kombinationselektroden (O₂ und CO) verfügbar. Zusammen mit einer CO-Messung kann die beigesteuerte Luftmenge noch besser an die CO-Grenze gelegt werden.

REDUZIERUNG DER PROZESS-BEDINGTEN WÄRMEVERLUSTE DURCH VORLÜFTEN DER RAUCHGASWEGE

Vor jedem Brennerstart ist sicherzustellen, dass sich in den Rauchgaswegen keine zündfähigen Gemische befinden. In der Praxis wird dies durch das sogenannte

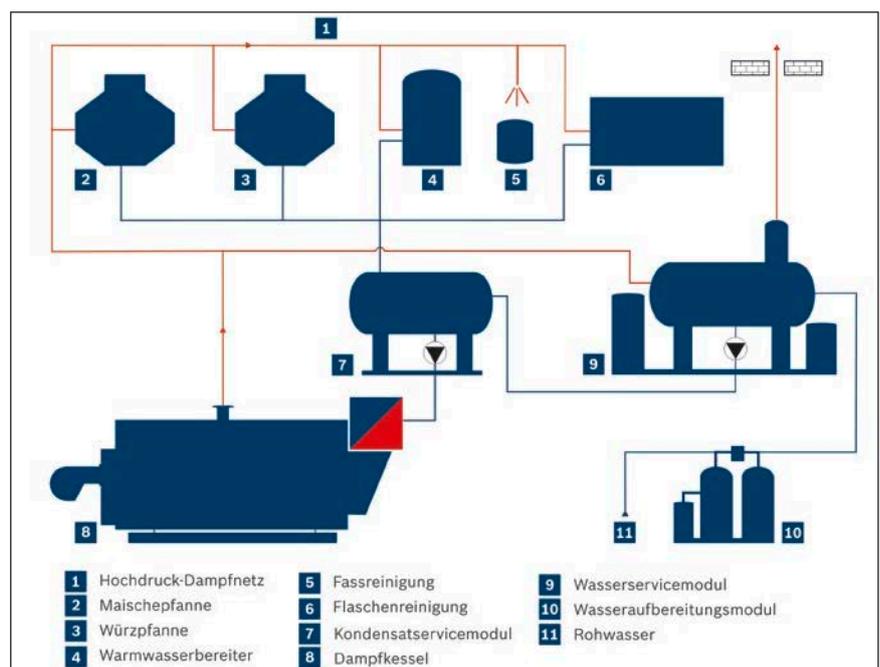


Abb. 5: Hochdruck-Kondensatsystem am Beispiel einer Brauerei

„Vorlüften“ erreicht. Nicht die Flamme zündet zuerst, sondern das Verbrennungsluftgebläse läuft an und presst kalte Umgebungsluft durch die üblicherweise heißen Rauchgaswege. Vorgeschrieben ist ein dreifacher Luftwechsel, was einen nicht unerheblichen Energieverlust darstellen kann. Demnach sind unnötige Brennerstarts zu vermeiden. Die Einflussfaktoren auf das Startverhalten der Feuerungen sind vielfältig, Ursachen und Lösungsmöglichkeiten können beispielweise sein:

- ▶ überdimensionierte Kesselanlagen
Lösungen: Nennleistung durch Modifizierung oder Austausch der Feuerung anpassen
- ▶ ungünstige Brennerregelverhältnisse
Lösungen: Modifizierung oder Austausch der Feuerung
- ▶ schlecht eingestellte Anlagen
Lösungen: Regelcharakteristik anpassen; Spreizung von Brennein- und Ausschaltdrücken erhöhen
- ▶ hohe Spreizung zwischen Spitzenlast und Grundlast auf Verbraucherseite
Lösungen: Umstrukturierung oder zeitliche Staffelung von Verbrauchern, um eine gleichmäßigere Leistungsverteilung zu erreichen; Einsatz von Feuerungen mit hohen Regelverhältnissen; bei kurzzeitigen Verbrauchsspitzen Einsatz von Dampfspeichern; Einsatz von Mehrkesselanlagen

REDUZIERUNG VON VERLUSTEN AUS WÄRMELEITUNG UND WÄRMESTRAHLUNG AN DER KESSELOBERFLÄCHE

Verluste durch Wärmestrahlung und Wärmeleitung sind von einer ordnungsgemäßen Isolation der Gesamtoberfläche und der Betriebstemperatur abhängig. Deshalb konstruieren die Hersteller die Kesselanlagen so kompakt wie möglich, verwenden hocheffektive Dämmstoffe und versehen auch Revisionsöffnungen mit abnehmbaren Isolationselementen.

ENERGETISCHE OPTIMIERUNGSPOTENTIALE INNERHALB DER KESSELANLAGE

Wärmerückgewinnung aus Kondensat
Kondensat sollte nach Möglichkeit immer

zurückgeführt werden. Bei einem hohen Kondensatertrag muss weniger Frischwasser unter Energieeinsatz neu aufbereitet werden. Eine Rückführung scheidet lediglich aus, wenn das Kondensat durch Fremdstoffe kontaminiert ist.

Hochdruck-Kondensatmodule können hohe Kondensatströme aufnehmen, ohne bzw. mit geringen Verlusten zwischenspeichern und sie der Anlage bei Nachspeisebedarf wieder zuführen. Je höher der Kondensatdruck, desto höher sind die Einsparungen im Vergleich zu drucklosen, offenen Kondensatrückführungen. Bis zu 12 % Energieverluste durch Entspannungsdampf können vermieden werden.

Weitere Vorteile ergeben sich durch verminderten Chemikalienverbrauch zur Wasseraufbereitung, reduzierte Absalz- und Abschlammungen und durch eine verringerte Korrosionsrate im Kondensatsystem (Abb. 5).

Wärmerückgewinnung aus Brüendampf

Um Korrosion in den Anlagen zu vermeiden, müssen Kohlendioxid und Sauerstoff aus dem Kesselspeisewasser entfernt werden. Dies geschieht hauptsächlich über thermische Verfahren in sogenannten Vollentgasungsanlagen. Das härtefreie Zusatzwasser wird dabei durch Dampf sehr schnell erwärmt. Die Löslichkeit der Gase nimmt mit steigender Temperatur ab und erreicht bei 100 °C annähernd null, wodurch die gelösten Gase das System gemeinsam mit einer kleinen Dampffahne (Brüden- oder Fedgedampf) über Dach verlassen.

Der Energieverlust durch den Brüden- oder Fedgedampf kann durch zwei Maßnahmen deutlich reduziert werden:

- ▶ Zum einen kann ein Brüdenkühler eingesetzt werden. Darin kondensiert der Dampf mittels eines Wärmetauschers, der auf der Gegenseite das härtefreie Zusatzwasser vorwärmt bevor es den Speisewasserbehälter erreicht.
- ▶ Eine zweite Möglichkeit ist die kontinuierliche Überwachung des Sauerstoffgehaltes im Speisewasserbehälter. Nach der Dampfblende wird ein Ven-

Energie sparen mit intelligenter Heizkörper- Regelung



iTRV

Der energieautarke
Heizkörperstellantrieb.

batteriefrei,
wartungsfrei,
kabellos

Micropelt GmbH
www.micropelt.de

micropelt
Energy harvesting.

Energiesparmaßnahme	Einsparungspotential
Economiser	Bis 7 % Brennstoffeinsparung
Abgaskondensator	Bis 7 % Brennstoffeinsparung
Luftvorwärmung	Bis 2 % Brennstoffeinsparung
Feuerung modulierend	- Bis 1 % Brennstoffeinsparung - Reduzierung Verschleiß
Drehzahlsteuerung Gebläse	Bis 75 % Brennstoffeinsparung
O₂-/CO-Brennerregelung	Bis 1 % Brennstoffeinsparung
Wasseraufbereitung	- Erhöhte Wasserqualität - Verbesserte Dampfqualität - Geringere Absalzrate
Thermische Entgasungsanlage	Bis 80 % Chemikalieneinsparung
Entspannungs- und Wärmerückgewinnungsmodul	- Bis 1 % Brennstoffeinsparung - Bis 1 % Zusatzwassereinsparung - Bis 100 % Kühlwassereinsparung - Bis 70 % Abwassereinsparung
Brüdenwärmetauscher	Bis 0,5 % Brennstoffeinsparung
Kondensatsysteme	- Bis 12 % Brennstoffeinsparung - Zusatz-/Rohwassereinsparung - Abwasserreduzierung - Bis 90 % Chemikalieneinsparung
Einstellung und Wartung	- Bis 3 % Brennstoffeinsparung - Verlängerte Lebensdauer - Prozesssicherheit - Verbesserte Betriebsweise

Tab. 1: Energetische Optimierungsmöglichkeiten an einer Dampfkesselanlage

til in den Brüdenstrom gesetzt, welches von der Steuerung nur geöffnet wird, wenn die Entgasungsfunktion benötigt wird. Dies ist immer dann der Fall, wenn Zusatzwasser nachgespeist wird oder der Sauerstoffgehalt im Speisewasserbehälter zu hoch ist.

ENERGIEOPTIMIERUNG DURCH REGELMÄSSIGE WARTUNG, PFLEGE UND ÜBERWACHUNG

Eine gute Wartung und Pflege von Kesselanlagen zahlt sich aus. Beläge führen durch ein Ansteigen der Abgastemperatur zu erheblichen Energieverlusten. Ein 1 mm starker Calciumcarbonat-Belag auf Flammrohr und Rauchrohren, verursacht etwa durch mangelnde Wartung einer Ionenaustauschanlage, verschlechtert den Wirkungsgrad um bis zu 15 %. Bei modernen Anlagen können heutzutage auch die Wasserkreisläufe automatisch überwacht und geregelt werden.

Schleichende Verschlechterungen des Wirkungsgrades oder sogar Schäden durch unzureichende Wasserqualitäten gehören damit der Vergangenheit an.

ENERGIEOPTIMIERUNG DURCH MODERNE KESSEL- UND ANLAGEN- STEUERUNGEN

Zur energietechnischen Optimierung komplexer Systeme ist eine hohe Datentransparenz notwendig. Moderne Anlagen erfassen kontinuierlich eine hohe Anzahl von Betriebszuständen, Betriebsdaten und Messwerten, bewerten diese und weisen die Ergebnisse aussagekräftig aus. Frühzeitig kann so auf eine sich verschlechternde Effizienz reagiert werden (Abb.6).

ZUSAMMENFASSUNG DER EINSPARPOTENTIALE AN DER DAMPFKESSELANLAGE

Steigende Energiekosten lassen heute Maßnahmen rentabel werden, die vor

einigen Jahren noch undenkbar gewesen wären. Verfügbare Technologien wie beispielsweise Economiser, Brennwert-Wärmetauscher und Luftvorwärmersysteme reduzieren Abgasverluste und Energieeinsatz enorm.

Weiteres Einsparpotential ergibt sich aus der Kondensat-Rückgewinnung: bis zu 12 % Brennstoffeinsparung können erzielt werden.

Auch für die Rückgewinnung von prozessbedingter Abwärme, die z.B. im Brüden Dampf oder Absalzwasser enthalten ist, gibt es geeignete Lösungen, siehe Tab.1.

In vielen Fällen zahlen sich höhere Anfangsinvestitionen vielfach durch die hohen Brennstoffersparnisse über die Laufzeiten der Anlagen aus. Häufig kann bereits durch einfachste Handlungen, wie z.B. die Veränderung von Steuerungsparametern, enorme Wirkung erzielt werden. In regelmäßigen



Abb.6: Bosch Kesselsteuerung mit Condition Monitoring für eine gleichbleibend hohe Effizienz und Verfügbarkeit

Abständen empfiehlt sich eine Wartung und energetische Überprüfung der Anlagen. Der Betreiber profitiert durch gleichbleibend hohe Energieeffizienz, Langlebigkeit und Ausfallsicherheit seiner Anlage.

EFFIZIENZERHÖHUNG DURCH KOMBINATION VERSCHIEDENER THERMOTECHNIK-TECHNOLOGIEN

Kraft-Wärme-Kopplung

Im gewerblichen oder industriellen Bereich kann der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen eine rentable Alternative darstellen. Eine Gasturbine oder ein Blockheizkraftwerk (BHKW) erzeugt dabei den elektrischen Strom – eine nachgeschaltete Abhitze-Kesselanlage nutzt die heißen Rauchgase aus den vorgelagerten Verbrennungsprozessen zur effizienten Erzeugung von Heiz- oder Prozesswärme. Die Spreizung zwischen Brennstoff- und Strompreis, die Anlagenauslastung und in bestimmten Ländern auch die staatlichen Förderungen sind Faktoren hinsichtlich der Rentabilität. Für viele industrielle Betreiber, die für ihre Produktionsanlagen rund um die Uhr Wärme und Strom benötigen, bieten sich solche Systeme an.

ABHITZEDAMPFKESSEL

Bei Modernisierungen von Bestandsanlagen ist häufig ein reiner Abhitzedampfkessel die beste Wahl. Der bereits bestehende Dampfessel wird als Spitzenlastkessel verwendet, die Grundlast wird von dem Abhitzedampferzeuger durch Nutzung der heißen Rauchgase eines BHKWs generiert.

EIGENBEFEUERTE GROSSWASSERRAUMKESSEL MIT ABHITZENUTZUNG

Bei den Heißwasser- oder Dampferzeugern mit Abhitzenutzung handelt es sich um konventionell befeuerte 3-Zug Kessel mit einem integrierten zusätzlichen vierten Rauchrohrzug. Durch diesen werden die heißen Rauchgase aus den vorgelagerten Prozessen geleitet, um damit die Dampf- oder Heißwassererzeugung zu unterstützen. Auf die bei reinen Abhit-

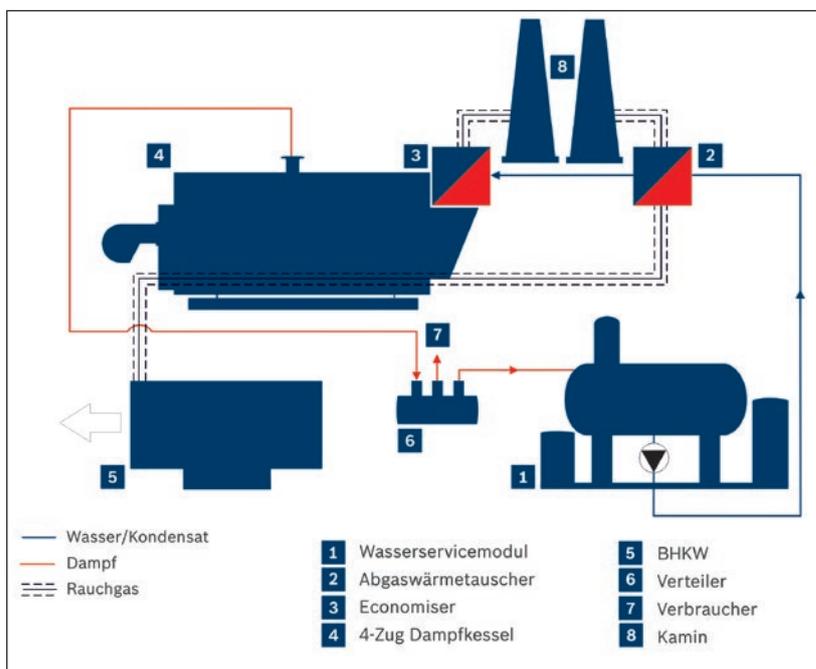


Abb. 7: Hydraulische Einbindung eines BHKW und eines eigenbefeuerten Großwasserraumdampfkessels in die Prozessdampferzeugung

zesseln zusätzlich notwendigen Spitzenlastkessel kann durch die Eigenfeuerung üblicherweise verzichtet werden. Investitionskosten, Platzbedarf und Ausstattungsanforderungen werden enorm reduziert – oft eine ideale Lösung bei der Neukonzeption der Energiezentrale (Abb. 7).

PROZESSDAMPFERZEUGUNG MIT SOLARTHERMISCHER UNTERSTÜTZUNG

Für Dampfesselanlagen mit hohem Zusatzwasserbedarf können auch Kombinationen mit Solarthermie sinnvoll sein. Aufbereitetes Zusatzwasser wird mit Solarenergie vorgewärmt.

Im Dampferzeuger wird dann weiter Energie zugeführt und Hochdruck-Sattdampf erzeugt. Unter den richtigen Rahmenbedingungen kann durch eine derartige Systemkombination eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Energieversorgung sichergestellt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Je nach Ausgangssituation, Größe und dem zeitlichen Verlauf der abgenommenen Leistung kann mit den unterschiedlichsten Konzepten eine ökonomische Energieversorgung sichergestellt werden. Steigende Energiekosten lassen

heute Maßnahmen rentabel werden, die vor einigen Jahren noch undenkbar gewesen wären. Höhere Anfangsinvestitionen zahlen sich häufig vielfach durch die hohen Brennstoffersparnisse über die Laufzeiten der Anlagen aus. In regelmäßigen Abständen empfiehlt sich eine energetische Überprüfung von Bestandsanlagen. Häufig kann durch einfachste Maßnahmen, wie z.B. der Veränderung von Steuerungsparametern, bereits eine enorme Wirkung erzielt werden. Wartung und Service der Anlagen sollten nicht vernachlässigt werden. Es wird empfohlen, die Anlagen viertel- oder mindestens halbjährlich zu warten und neu einzustellen. Der Betreiber profitiert durch gleichbleibend hohe Energieeffizienz, Langlebigkeit und Ausfallsicherheit seiner Anlage.

Autor:

Markus Tuffner, Dipl.-Wirtschaftsing. (FH),
Dipl.-Informationswirt (FH)

Bosch Industriekessel
91710 Gunzenhausen

Foto/Grafiken:

Bosch Industriekessel
www.bosch-industrial.com

