



BOSCH
Technik fürs Leben

Fachbericht

www.bosch-industrial.com

Planungsgrundsätze zur optimalen Dampf- und Heizwärmeerzeugung

Dipl.-Ing. Hardy Ernst
Dipl.-Ing. Matthias Raisch, Bosch Industriekessel GmbH

Energieeinsparung und Emissionsreduzierung sind nicht nur die Visionen unserer Politiker, sondern letztendlich schon aus Eigennutz die Ziele eines jeden Kesselbetreibers. Mit modernen Energieerzeugungsanlagen und effektiven Abwärmerückgewinnungseinrichtungen lassen sich Verluste auf ein Minimum reduzieren.

Allzu oft werden jedoch dynamische Einflussfaktoren außer Acht gelassen. In diesem Beitrag geht es um die Reduzierung von Investitions- und Betriebskosten für Dampf- und Wärmeerzeuger für Industrie und Kommunen bis zu einer Leistung von 55 t/h bzw. 38 MW/Einheit.

Aufheizprogramme statt größeren Kessel

Die sorgfältige Ermittlung von Wärme-/Dampfmenge bildet den Grundstein einer jeden Optimierung. Einheiten, die zur Abdeckung seltener Anfahrspitzen leistungsstärker dimensioniert werden, arbeiten in Schwachlastphasen durch häufiges Aus-/Einschalten der Feuerung oft unwirtschaftlich und umweltbelas-

tend. Durch verbrauchsgesteuerte Aufheiz- und Anfahrprogramme, bei denen zwischen vor- und nachrangigen Verbrauchern zeitlich differenziert wird, kann der Wärmeerzeuger leistungsschwächer dimensioniert werden. Dadurch wird gleichzeitig der Regelbereich für das wirtschaftliche Ausfahren der Schwachlastphasen vergrößert.

Trennung von Produktionsdampf und Gebäudeheizung verringert Betriebskosten

Der Wärmeverbraucher mit dem höchsten Temperatur-/Druckniveau ist bestimmend für den Auslegungsdruck des Wärmeerzeugers. Mit steigendem Auslegungsdruck wachsen die Kosten der Gesamtanlage. Es ist deshalb meist unwirtschaftlich, wenn mit der produktionsorientierten Hochdruck-Dampferzeugungsanlage gleichzeitig die Gebäudebeheizung abgedeckt wird. Das niedrige Temperaturniveau und der Heizwärmebedarf außerhalb der Produktionszeiten rechtfertigen eine separate Heizwärmeerzeugung. Hinzu kommen Kosteneinsparungen durch Beaufsichtigungs- und Überwachungsfreiheit für Anlagen mit 110 °C maximaler Temperatur. Unter Umständen ist es sogar sinnvoll, einem einzelnen Verbraucher mit extrem hohem Druck und verhältnismäßig kleiner Wärmemenge einen eigenen Dampferzeuger zuzuordnen.

Extreme Kleinlast erfordert Aufteilung der Gesamtleistung

Neben der Versorgungssicherheit ist die Spreizung zwischen kleinstem und größtem Wärmeverbrauch Grund für eine Aufteilung der Gesamtleistung auf mehrere Einheiten. Der kleinste Leistungsbedarf liegt häufig unter der Kleinstlast einer Einheit, so dass eine schwachlastangepasste Leistungsaufteilung sinnvoll ist. Verlustreicher, umweltbelastender Ein-/Aus-Schaltbetrieb der Feuerung sowie vorzeitiger Verschleiß werden dadurch vermieden. Bei Großanlagen bestimmt die Leistungsgrenze der Wärmeerzeuger die Anzahl der Einheiten. Optimal ist die Aufteilung der Gesamtleistung in baugleiche Einheiten. Verringerte

Ersatzteilhaltung und Teileaustauschbarkeit sind hinreichende Gründe. Nur wenn mit der so gefundenen, kleinsten Einheit ein wirtschaftlicher Betrieb mit kleinster Last nicht erfüllbar ist, sollte eine angepasste Kleinlasteinheit eingesetzt werden.

Für großen Leistungsbedarf sind Zweiflammrohr-Kessel günstiger

Die Leistung der Einflammrohr-Kessel ist durch konstruktive Möglichkeiten und Vorschriften begrenzt. Bosch Industriekessel baut Einflammrohr-Kessel bis zu Leistungen von ca. 19 MW bzw. 28 t/h. Für Gesamtleistungen, die nicht mehr mit einem Kessel erfüllt werden können, ist der Einsatz von einem Zweiflammrohr-Kessel im Vergleich zu mehreren Einflammrohrkesseln oft günstiger. Geringerer Installations-, Wartungs- und Prüfaufwand sind hinreichende Gründe.

Zweiflammrohr-Kessel für den Einzelbetrieb beider Feuerungen

Von den meisten Wärmeversorgungsanlagen wird eine dynamische Lastanpassung an stark schwankenden Verbrauch gefordert. Deshalb sollten Zweiflammrohr-Kessel eingesetzt werden, die für den uneingeschränkten Brennereinzelnbetrieb geeignet und zugelassen sind. Diese Zweiflammrohr-Kessel sind nicht nur mit getrennten Rauchgaswegen ausgestattet, sondern auch für den Belastungsfall „Einflammrohrbetrieb“ speziell konstruiert. Die Feuerungen sind völlig autark ausgestattet und können einzeln oder parallel betrieben werden. Durch automatisches Zu- und Abschalten der Brenner in Abhängigkeit vom Wärmebedarf mit Folgeschaltung steht für jede Kessleinheit der Regelbereich von der Kleinstlast eines

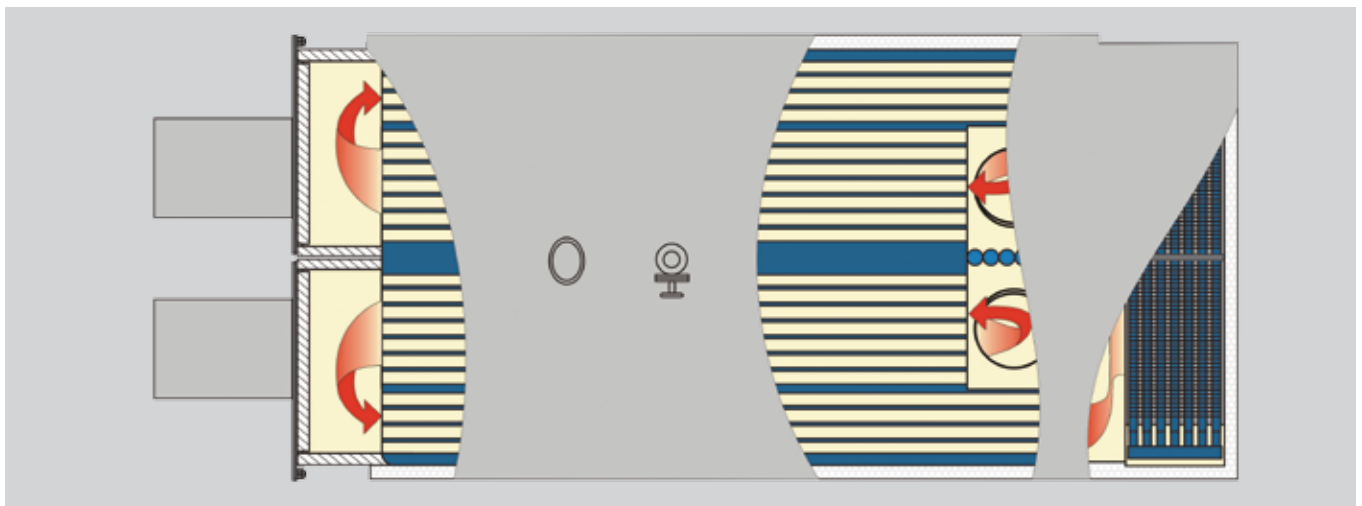


Abbildung 1: Zweiflammrohr-Rauchrohr-Dreizugkessel mit getrennten Rauchgaswegen für Brennereinzelnbetrieb und integriertem Economiser zur Speisewasseraufheizung

Brenners bis zur maximalen Last beider Brenner automatisch zur Verfügung.

Dadurch wird der modulierende Regelbereich verdoppelt und die Brennerschalzhäufigkeit bei Schwachlast halbiert.

Die durchgehende Brennstoffzuführung über einen großen Regelbereich sorgt für einen unterbrechungsfreien Wärmeübertragungsprozess und einen durchgängig dynamischen Kesselwasserumlauf. Bei Störungen an einer Feuerung stehen weiterhin 50% der Kesselleistung zur Verfügung (Abbildung 1).

Optimale Kessel-/Brennerkombination erhöht Kundennutzen zum Nulltarif

Für einen vorgegebenen Wärmebedarf bietet der kundenorientierte Kesselhersteller unterschiedliche Kessel-/Brennerkombinationen. Um die Kessel-/Brennerkombination mit dem höchsten Kundennutzen zu finden, ist die Untersuchung von Alternativen erforderlich. In Tabelle 1 werden zwei Kesseltypen für einen Heizwärmebedarf von 1800 kW, 90/70 °C, erdgasbeheizt, gegenübergestellt.

Durch den Einsatz der nächstgrößeren Kesseltype UT-L 16 mit einer Grenzleistung von 2000 kW Wärme-

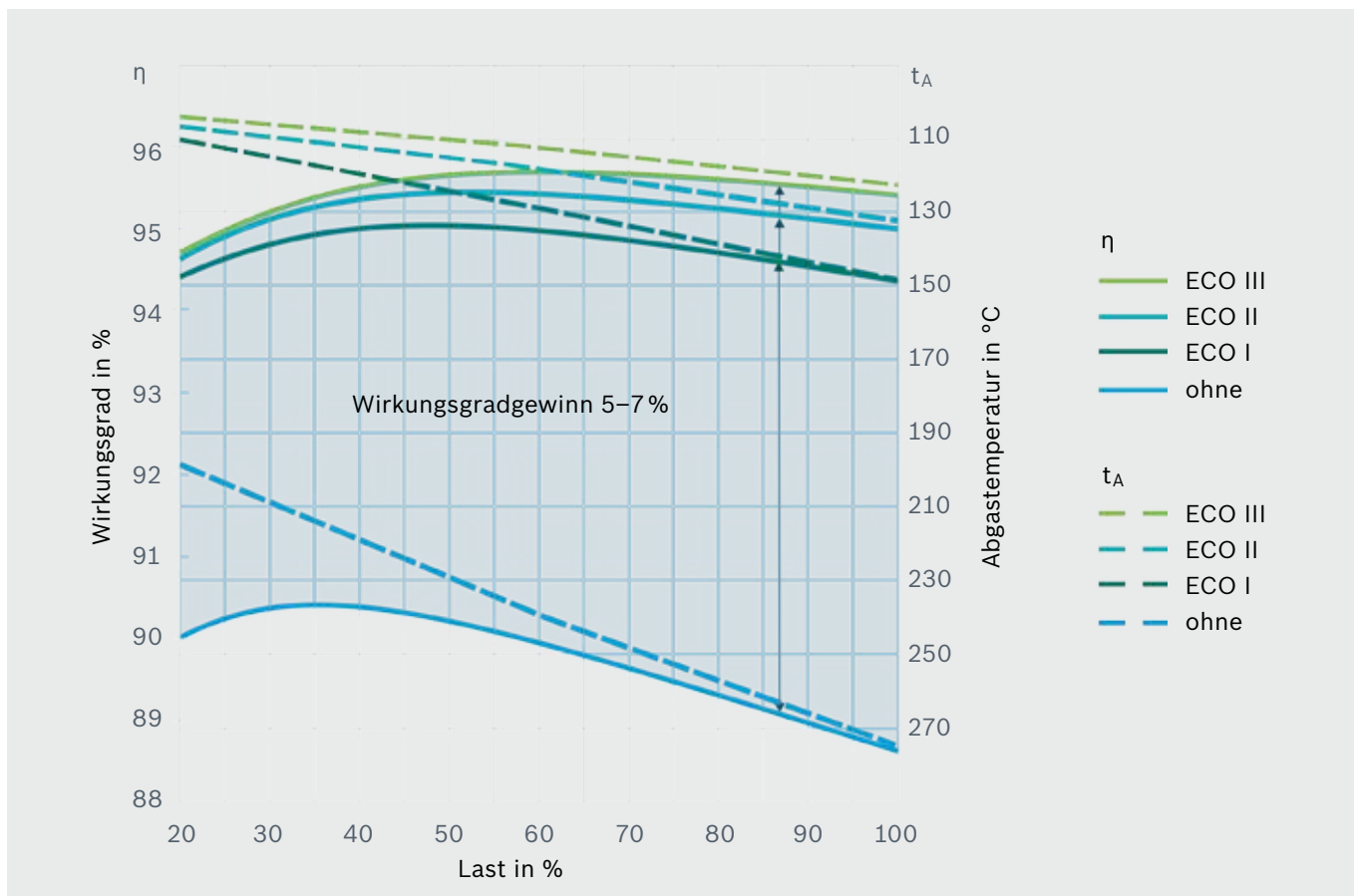
leistung ergibt sich ein erhöhter Kundennutzen durch folgende Vorteile:

- ▶ Einsatz eines kleineren Brenners
- ▶ Kleinerer Brennermotor-Anschlusswert
- ▶ Größerer Brenner-Regelbereich
- ▶ Verminderte Brennerschalzhäufigkeit bei Schwachlast
- ▶ Höherer Kesselwirkungsgrad
- ▶ Geringerer Brennstoffverbrauch
- ▶ Geringere NO_x-Schadstoffmenge im Abgas
- ▶ Niedrigere Investitionskosten, da der Kesselmehrpreis vom Brennerminderpreis kompensiert wird

Die Wahl der nächstgrößeren Kesseltype erlaubt nicht immer den Einsatz eines kleineren Brenners. Deshalb sollten auch Möglichkeiten der geringfügigen Heizleistungsminderung insbesondere bei der Aufteilung der Gesamtheizleistung von Mehrkesselanlagen in mehrere Einheiten untersucht werden.

Mit Abgaswärmetauschern Geld verdienen

Der Einsatz eines Abgaswärmetauschers bietet ideale Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Umweltentlastung.



Grafik 1: Erzielbare Leistungsoptimierung durch Abgaswärmetauscher für „trockenen“ Betrieb

Tabelle 1: Vergleich von zwei Kessel-/Brennerkombinationen		
Heizkessel-/Brennerkombination	A	B
Kesseltyp UT-L	14	16
Nennleistung in kW	1 800	1 800
Grenzleistung in kW	1 900	2 000
Kesselwiderstand in mbar	7,5	5
Erforderlicher Brennertyp G	9	20
Brennermotor in kW	6,5	3
Brennerregelbereich	1 : 3,9	1 : 5,6
Kesselwirkungsgrad in %	91,14	92,37
Brennstoffmenge in m³/h	191	188
Spez. Feuerraumbelastung in MW/m³	1,77	1,08
NOx-Gehalt im Abgas in mg/m³	150	130
Investitionskosten Kessel + Gasbrenner in %	100	93,2

Abgaswärmetauscher für „trockenen“ Betrieb

Dampferzeuger werden meist mit vollentgastem Speisewasser mit Temperaturen von ca. 103 °C gespeist. Die Abgastemperatur am Kesselaustritt richtet sich nach der Kesselwassertemperatur und der jeweiligen Kessellast. Zur Leistungsoptimierung wird die Abgaswärme durch einen Economiser im Abgasstrom dem Speisewasser zugeführt.

Bei den Dampfkesseln UNIVERSAL UL-S (Einflamm-

rohrsystem bis 28 t/h) und ZFR (Zweiflammrohrsystem bis 55 t/h) mit integriertem Abgaswärmetauscher ist der Economiser in der wärmegeprägten Abgaskammer integriert und im Rahmen zulässiger Transportmaße anschlussfertig vormontiert. Dadurch entfallen zusätzliches Fundament und Ortsmontage. Für Nachrüstungen kann der Abgaswärmetauscher ECO Stand Alone direkt hinter dem Kessel aufgestellt und eingebunden werden.

Die „trockene“ Betriebsweise eignet sich für Leichtöl und Erdgas auch in Verbindung mit feuchteempfindlichen Kaminen. Taupunktunterschreitung lässt sich durch eine Abgastemperatur-Regleinrichtung vermeiden. Economiser mit Gehäusen, Abgaskanälen und eventuell einzusetzende Abgasschalldämpfer können in Stahl ausgeführt werden. Mit Economisern für den „trockenen“ Betrieb können Kesselwirkungsgrade über 95 % erzielt werden (Grafik 1).

Hochdruck-Heißwassererzeuger für Prozess- oder Fernheizsysteme werden meist mit Systemrücklauf-temperaturen über 100 °C betrieben, so dass ebenfalls Abgaswärmetauscher für den „trockenen“ Betrieb eingesetzt werden können. Hierbei wird meist ein Teilstrom vom Rücklauf über den Abgaswärmetauscher geleitet.

Die Ecosysteme für Hochdruck-Heißwassererzeuger sind für Neukessel in der Abgaskammer integriert und

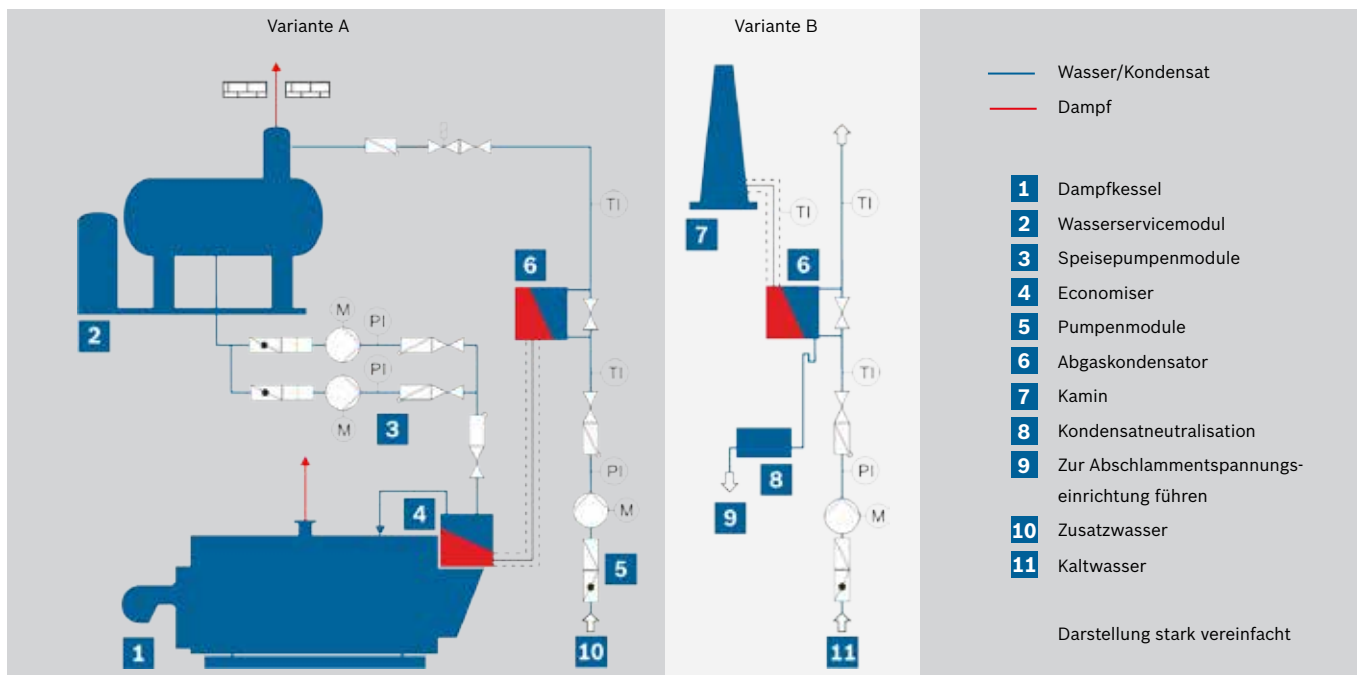


Abbildung 2: Dampferzeuger mit Zweistufenbetrieb – Economiser/Abgaskondensator; Brennstoffeinsparung bis zu 15 %

Variante A - Economiser: Kesselspeisewasservorwärmer für „trockene“ Betriebsweise

Variante B - Abgaskondensator: Zusatz-/Brauchwasservorwärmer für „nasse“ Betriebsweise

für Nachrüstungen zur Aufstellung direkt hinter dem Kessel lieferbar. Sie werden optional mit wasser- und/oder abgasseitiger Temperaturregeleinrichtung zur Vermeidung von Taupunktunterschreitungen im ECO und/oder Kamin ausgerüstet.

Heißwassererzeuger zur direkten Gebäudebeheizung werden mit möglichst niedrigem Temperaturniveau betrieben. Abhängig von der Kesselvor-/rücklauftemperatur und deren Spreizung ergeben sich mittlere Kesselwassertemperaturen zwischen 60–100 °C. Bei wirtschaftlich arbeitenden Kesseln können Abgastemperaturen am Kesselaustritt zwischen 160–190 °C bei Volllast und 120–150 °C bei Kleinlast erreicht werden. Gebäudeheizkessel werden nur an wenigen Tagen im Jahr bis zur vollen Leistung ausgefahren. Die höchsten Jahresbetriebsstunden liegen im mittleren und unteren Lastbereich. Die erzielbaren Kesselwirkungsgrade in diesen Teillastbereichen liegen bereits bei 93–94 %. Ein nachgeschalteter Abgaswärmetauscher für „trockenen“ Betrieb reduziert die Abgastemperaturen auf bis zu 75 °C und sorgt für eine weitere Wirkungsgradsteigerung auf bis zu 98 %.

Abgaswärmetauscher für „nassen“ Betrieb

Erdgasbeheizte Wärmeerzeuger produzieren ruß- und schwefelfreies Abgas. Mittlerweile ist auch der Brennstoff schwefelarmes Heizöl (Schwefelgehalt maximal 50 ppm = 0,005 Gewichts-%) flächendeckend verfügbar, der eine ähnlich rückstandslose Verbrennung erreicht wie Erdgas. Bei diesen Abgasen kann zusätzlich die Kondensationswärme als Heizleistung genutzt werden.

Bei Industriedampferzeugern wird nach dem Economiser für „trockenen“ Betrieb zur Speisewasseraufheizung ein zweiter Wärmetauscher aus Edelstahl als Abgaskondensator eingesetzt. Alle nachfolgenden Abgaswege werden ebenfalls in Edelstahl und mit korrosionsbeständigen Kondensatleitungen ausgerüstet. Voraussetzung für die Anwendung einer Abgaskondensation sind Niedertemperaturverbraucher. Beispiel: In wärmeintensiven Produktionsbetrieben mit Direktdampfverbrauchern, ohne Kondensatrückfluss, kann das chemisch aufbereitete Zusatzwasser aufgeheizt und/oder Brauchwasser erzeugt oder vorgeheizt werden (Abbildung 2).

Für Hochdruck-Heißwassererzeuger ist die Abgaskondensation nicht anwendbar, da die Netz-Rücklauftemperaturen deutlich über dem Taupunkt liegen.

Heißwassererzeuger mit Erdgasbeheizung bzw. Beheizung mit schwefelarmem Heizöl können zur Leistungsoptimierung ebenfalls mit Abgaswärmetauschern für „nassen“ Betrieb ausgerüstet werden (Abbildung 3). Niedertemperatur-Heizkreise werden über Edelstahl-Abgaswärmetauscher geführt und bewirken die Abgaskondensation.

Der Kesselwirkungsgrad kann in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur bis auf über 105 %, bezogen auf den unteren Brennstoffheizwert, gesteigert werden (Grafik 2). Bei Beheizung mit Zweistoff Gas-/Ölfeuerung wird der Abgaswärmetauscher mit abgasseitigem Bypass und Stellklappe zur Umgehung des Wärmetauschers bei schwefelhaltigem Öl ausgestattet.

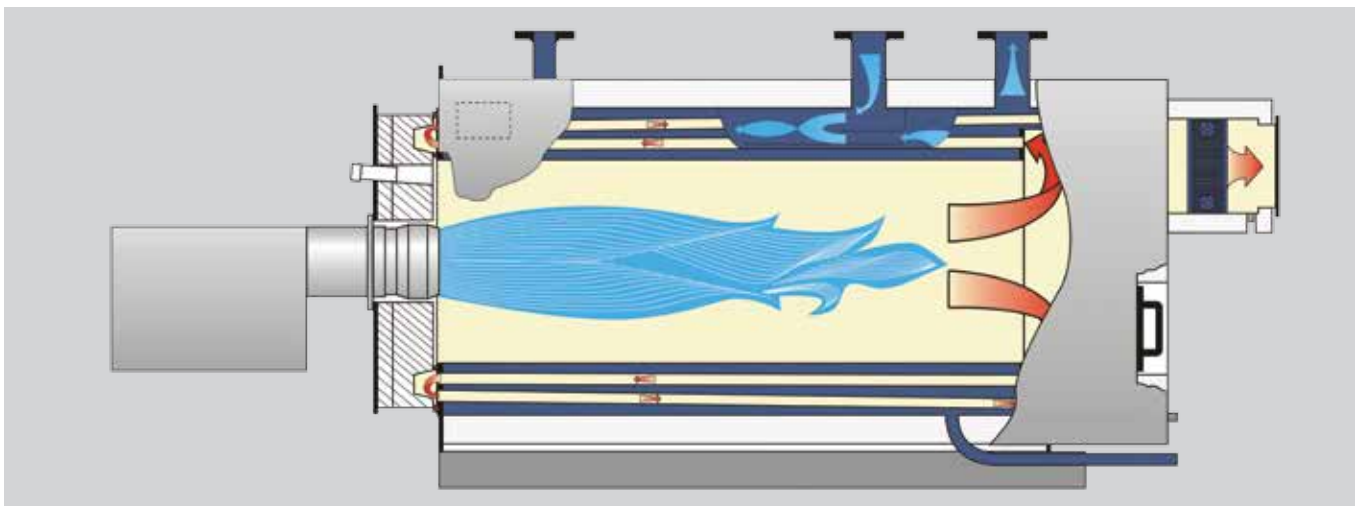


Abbildung 3: Einflamrohr-Rauchrohr-Heißwasserkessel im Dreizugprinzip mit Abgaswärmetauscher

Kondensatentsorgung

Gemessen mit dem pH-Wert als Säuregrad für Flüssigkeiten hat Abgaskondensat aus der Verbrennung von Erdgas einen pH-Wert zwischen 2,8–4,9 bzw. aus der Verbrennung von schwefelarmem Heizöl einen pH-Wert zwischen 1,8–3,7. Die Kondensattemperaturen liegen im Temperaturbereich zwischen 25–55 °C. Für die Neutralisation werden für Kleinanlagen Filter mit erneuerbarer Dolomitfüllung und für Großanlagen Behälter mit Dosiereinrichtungen für Natronlauge eingesetzt. Bei richtiger Auswahl und Dimensionierung der Neutralisationseinrichtung sind

die zulässigen Werte für die Einleitung in öffentliche Abwassernetze einhaltbar. Die Einleitung ist von der zuständigen Behörde zu genehmigen.

Mehrkesselanlagen mit optimierender Folgeschaltung

Die Konzeption der Mehrkesselanlage bietet Möglichkeiten zur Steigerung der Gesamtwirtschaftlichkeit und zur Leistungsoptimierung. Als Beispiel wird eine Mehrkesselanlage zur Gebäudebeheizung dargestellt. Gegenüber einer Einkesselanlage werden erhöhte Anforderungen an die hydraulische und regeltechnische Schaltung gestellt.

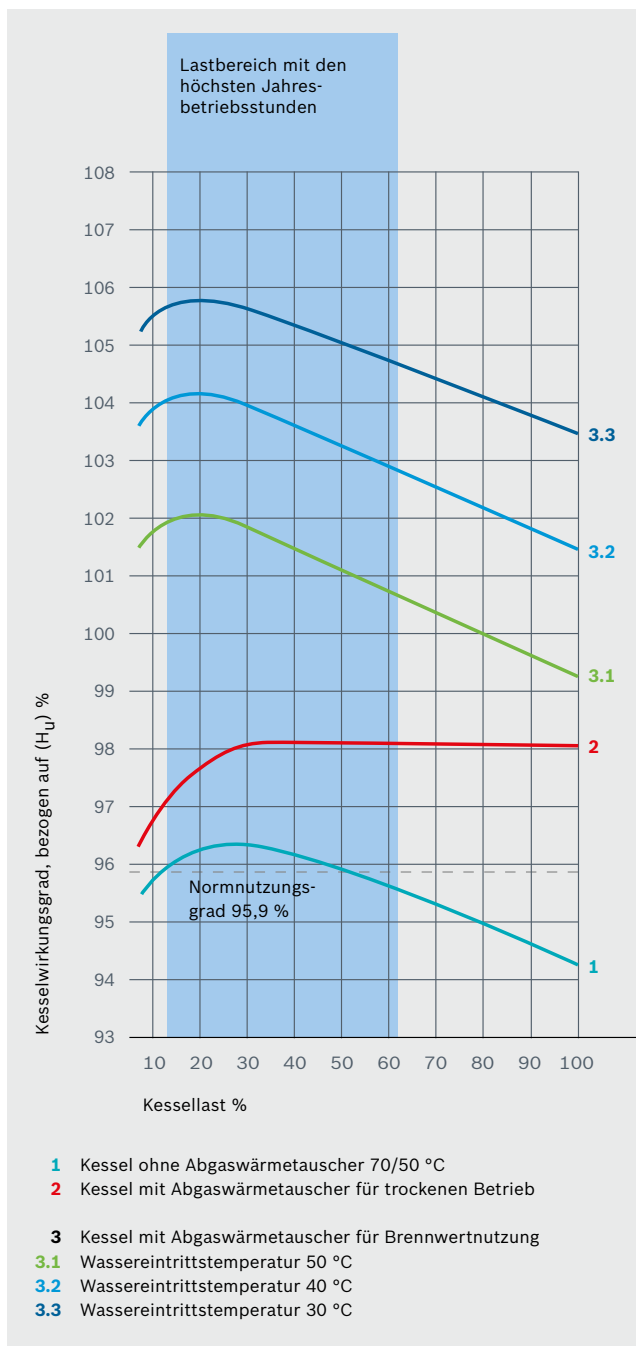
Heizkreisregelung

Die Verbraucher fordern bei höchster Versorgungssicherheit bestmögliche Anpassung an den jeweiligen Wärmebedarf. Schwankende Wärmemengen werden am besten mit konstanten Volumenströmen und variablen Temperaturen bereitgestellt. Hierfür werden in den Heizkreisen Dreiwegmischer zur Einleitung von Rücklaufwasser in den Vorlauf eingesetzt. Die witterungsgeführte Heizkreisvorlauftemperatur-Regelung wirkt auf die Stellglieder der Dreiwegmischer und versorgt die Verbraucher mit der Heizmitteltemperatur, die für eine ausreichende Wärmemenge gerade angefordert wird.

Kesselkreisregelung

Die Heißwasserkessel fordern vorrangig die Einhaltung einer Mindestrücklauftemperatur zur Vermeidung von Taupunktunterschreitungen. Hierfür werden in den hydraulischen Kesselkreisen z. B. Dreiwegmischer zur Einleitung von Vorlaufwasser in den Rücklauf eingesetzt (Rücklauftemperaturhochhaltung). Die zu erzeugende Wärmemenge durch einen oder mehrere Heißwasserkessel wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur, der System-Vorlauftemperatur und der Systemvorlauf-/Rücklauftemperatur-Spreizung erhöht oder vermindert.

Reicht die Wärmemenge des Führungskessels nicht aus, werden in der Reihenfolge Kesselkreis-pumpe und Brenner des Folgekessels aktiviert. Der Folgekessel wird zunächst im Kesselkreis auf Mindestrücklauftemperatur aufgeheizt. Danach erfolgt die Wärmeabgabe über den Dreiwegmischer in den Systemvorlauf (Abbildung 4). Bei geringer werdendem Wärmebedarf erfolgt die



Grafik 2: Wirkungsgradkurven für UNIMAT Heißwasserkessel bei Kessel-Vorlauf/Rücklauf 70/50 °C

Reduktion der Brennerleistung. Zur Vermeidung von häufigen Schaltungen erfolgt zeitverzögertes Zu- und Abschalten der Brenner (Stufen).

Volumenströme

Bei der hydraulischen Schaltung dieser Mehrkesselanlage ergeben sich durch die Kesselkreisregelungen primär und durch die Heizkreisregelungen sekundär unterschiedliche Volumenströme, die sich gegenseitig beeinflussen. Durch „starre“ in Reihe geschaltete Primär- und Sekundärseite kann, z.B. durch Zulaufen der Heizkreismischer, der Primär-Volumenstrom gegen Null gehen. So kann die Forderung nach einem Mindest-Volumenstrom für die Heißwasserkessel und eine ständige Beaufschlagung des Vorlauffühlers für die Kesselfolge nicht erfüllt werden.

Hydraulische Weiche

Eine absolut zuverlässige Lösung dieser Probleme besteht im Einsatz einer hydraulischen Weiche. Hierdurch werden die Volumenströme der Primär- und Sekundärseite hydraulisch vollkommen entkoppelt und eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen. Mit der Anordnung des gemeinsamen Vorlauffühlers am Sekundär-Austritt ist eine Fühlerbeaufschlagung mit der ersten Wärmeanforderung sichergestellt. Nicht in Betrieb befindliche Kessel werden gemäß

Heizanlagenverordnung hydraulisch abgesperrt. Jeder Kessel wird mit annähernd konstantem Volumenstrom beaufschlagt. Die Kesselkreisumpen sollen entsprechend den Nennleistungen der Heißwasserkessel aufgeteilt sein. Ihre Gesamtfördermenge soll mindestens dem 1,1-fachen, maximal dem 1,5-fachen des Gesamtheizkreisvolumenstromes entsprechen.

Regelung

Die sichere Funktion und Optimierungsfähigkeit einer Mehrkesselanlage erfordert den Einsatz eines leistungsfähigen Regelsystems. Neben der Erfüllung der funktionsgerechten Regelaufgaben soll ein möglichst niedriger Energieverbrauch mit bestmöglicher Umweltentlastung erzielt werden. Das Regelsystem sollte in der Lage sein, die Kesselanlage witterungsabhängig in Folgeschaltung (auf Netzvorlauftemperatur geregelt oder Regelung wärmemengenabhängig) zu führen. Die Überwachung der Heißwasserkessel, das Regeln sowie Zu- und Abschalten der Brenner und Kesselkreisumpen übernimmt dabei die jeweilige Kesselkreisregelung. Über ein gemeinsames Bussystem erfolgt der ständige Datenaustausch der einzelnen Kesselsteuerungen Boiler Control (BCO) zum übergeordneten Managementsystem System Control (SCO), so dass die Anlage automatisch auf höchste Anforderung gefahren wird.

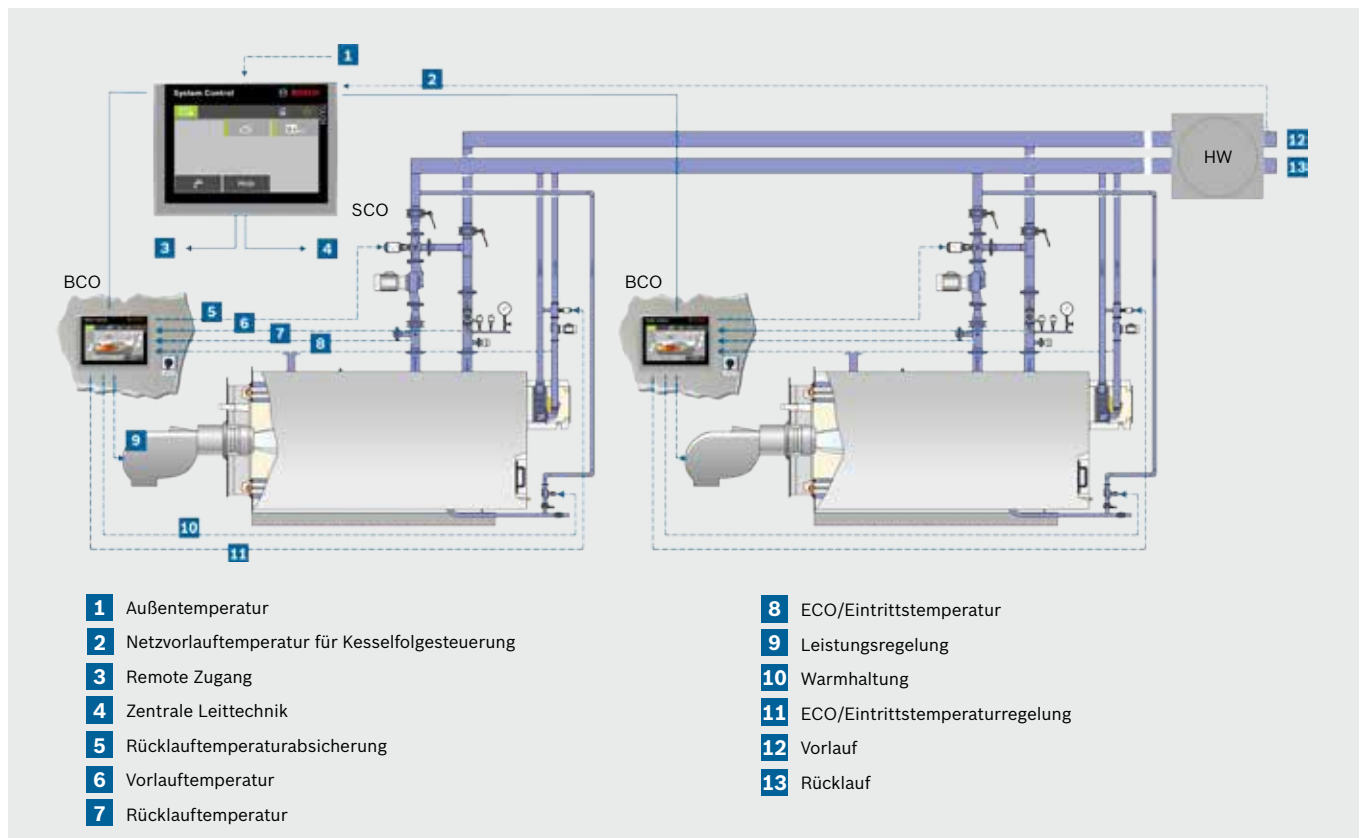


Abbildung 4: Witterungsgeführte Heißwasserkesselanlage mit hydraulischer Weiche

Zusammenfassung

Die Leistungsoptimierung beginnt mit der gründlichen Erfassung der Leistungsparameter Wärmemenge, Druck und Temperatur. Bedeutsam sind Spitzen- und Schwachlastbedarf. Darauf abgestimmt erfolgt die Aufteilung auf mehrere Kesseleinheiten mit angepasster Leistung. Die Frage der Trennung von Produktions- und Heizwärme ist zu entscheiden.

Bei großen Leistungen bietet der Einsatz von Zweiflammrohr-Rauchrohrkesseln für den Einzelbetrieb beider Feuerungen Optimierungsvorteile. Kessel und Brenner sollten als Funktionseinheit betrachtet werden, damit vom Kesselhersteller eine bedarfsbezogene, optimale Kessel-Brennerkombination ermittelt werden kann. Abhängig von den verfügbaren Brennstoffen lassen sich unterschiedliche Abgaswärmerückgewinnungssysteme einsetzen.

Die höchste Leistungsoptimierung wird durch Ausnutzung der Abgaskondensation erzielt. Mehrkesselanlagen bieten durch den Einsatz von speicherprogrammierbaren Steuerungen vielfältige Möglichkeiten zur Leistungsoptimierung. Heißwasserkessel können witterungsgeführt mit bestem Nutzungsgrad gefahren werden, wenn die hydraulische Schaltung entsprechend gewählt wird.

Dem Anlagenplaner stehen vielfältige Möglichkeiten zur Realisierung leistungsoptimierter Wärmeerzeugungsanlagen zur Verfügung. Detaillierte Einzelbetrachtungen mit stofflicher und energetischer Bilanzierung unterschiedlicher Alternativen sollten vorgenommen werden.

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 | 09/2017 | TT/MKT-CH_de_FB_Planungsgrundsätze_03