



Rapport technique

Dipl.-Ing. Hardy Ernst
Dipl.-Wirtschaftsing. (FH), Dipl.-Informationswirt (FH)
Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH



BOSCH

Des technologies pour la vie

Principes de conception fondamentaux pour la génération optimale de vapeur et de chaleur

Les économies d'énergie et la réduction des émissions ne sont pas seulement des visions de nos politiciens mais représentent également, tout compte fait, les objectifs de tout utilisateur de chaudière, ne serait-ce que pour son propre avantage. Les installations de génération d'énergie actuelles et les équipements efficaces de récupération de la chaleur permettent de réduire les pertes à un minimum.

Toutefois, des facteurs d'influence dynamiques sont trop souvent négligés. Ce rapport traite de la réduction des coûts d'investissement et d'exploitation pour les générateurs de chaleur et de vapeur des secteurs industriel et communal jusqu'à une puissance de 55 t/h ou 38 MW/unité.

Programmes de mise en température au lieu de chaudières plus grandes

L'évaluation précise du volume de chaleur/vapeur représente la base de toute optimisation. Les unités dont la puissance est augmentée dans le but de couvrir des pics au démarrage peu fréquents, fonctionnent souvent de manière polluante et improductive pendant les phases de faible charge en raison de mises en marche et d'arrêt fréquents. Le générateur de chaleur peut être dimensionné à une puissance moins élevée grâce à des programmes de démarrage et de mise en température permettant de faire la différence entre les utilisateurs situés en amont et en aval. Ce qui augmente simultanément la plage de régulation pour des phases de faible charge plus économiques.

Le fait de séparer la vapeur destinée à la production et le chauffage des bâtiments permet de diminuer les coûts d'exploitation

Le consommateur de chaleur ayant le niveau de température/pression le plus élevé détermine la pression de détermination du générateur de chaleur. Plus la pression de détermination est élevée, plus les coûts de l'ensemble de l'installation augmentent. Par conséquent, il est généralement improductif de couvrir simultanément le chauffage du bâtiment avec l'installation de production de vapeur haute pression destinée à la production. Le faible niveau de température et les besoins de chauffage en dehors des heures de production justifient une génération de chaleur séparée pour le chauffage. A ceci s'ajoutent des économies de coûts dus à la

liberté de surveillance et de contrôle des installations avec une température maximale de 110 °C. Dans certaines conditions il peut même s'avérer judicieux d'affecter à un consommateur individuel dont la pression est extrêmement élevée et le volume de chaleur proportionnellement faible, son propre générateur de vapeur.

Une petite charge extrême exige de répartir la totalité de la puissance

Outre la sécurité d'approvisionnement, l'écart entre les consommations thermiques minimale et maximale justifie la répartition de la puissance totale sur plusieurs unités. La puissance minimale nécessaire est souvent inférieure à la charge minimale d'une unité si bien qu'une répartition de la puissance adaptée à la charge minimale est appropriée. Il est ainsi possible d'éviter les commutations marche/arrêt polluantes et coûteuses de l'équipement de chauffe ainsi que son usure précoce. Sur les grandes installations, la limite de puissance des générateurs de chaleur détermine le nombre d'unités. La solution idéale étant de répartir la puissance totale sur des unités de construction similaire, ne serait-ce que pour réduire le stock des pièces de rechange et de faciliter l'interchangeabilité des pièces. Une unité adaptée à faible charge ne devrait être utilisée que s'il est impossible d'obtenir un fonctionnement économique à charge minimale avec la plus petite unité ainsi trouvée.

Les chaudières bitubes foyer sont plus avantageuses pour les besoins de grandes puissances.

La puissance des chaudières à tube-foyer est limitée en raison des possibilités et prescriptions structurelles.

Bosch Industriekessel construit des chaudières à tube-foyer jusqu'à des puissances d'env. 19 MW ou 28 t/h. Pour les puissances totales ne pouvant plus être assurées par une chaudière, l'utilisation d'une chaudière bitube-foyer est souvent plus avantageuse par rapport à plusieurs chaudières à un tube-foyer. La réduction des opérations d'installation, d'entretien et de contrôle sont des raisons suffisantes à cela.

Chaudières bitube-foyer pour le fonctionnement individuel des deux équipements de chauffe

La plupart des centrales d'approvisionnement de chaleur exigent une adaptation dynamique de la charge à une consommation très variable. C'est pourquoi il est recommandé d'utiliser des chaudières bitube-foyer adaptées et homologuées pour le fonctionnement

individuel illimité du brûleur. Non seulement ces chaudières bitube-foyer sont équipées de parcours de fumées séparés mais elles sont également construites spécialement pour les charges à « fonctionnement monotube-foyer ». Les équipements de chauffe sont entièrement indépendants et peuvent fonctionner individuellement ou en parallèle. Avec la mise en marche et l'arrêt automatiques du brûleur en fonction des besoins en chaleur avec fonctionnement en cascade, chaque unité de chaudière dispose automatiquement d'une plage de régulation comprise entre la charge minimale d'un brûleur et la charge maximale de deux brûleurs.

La plage de régulation modulante est ainsi doublée et la fréquence de commutation du brûleur diminuée de moitié pour les charges réduites.

L'alimentation permanente en combustible avec une grande plage de régulation permet un transfert thermique continu et une circulation d'eau dynamique continu dans la chaudière. Si l'équipement de chauffe est en panne, 50% de la puissance de chaudière restent disponibles (figure 1).

Une combinaison optimale chaudière/brûleur augmente l'avantage client au tarif 0

Le fabricant de chaudières propose différentes combinaisons chaudière/brûleur pour des besoins thermiques donnés. Il est nécessaire d'analyser les différentes alternatives afin de trouver la combinaison la plus avantageuse pour le client. Le tableau 1 compare deux types de chaudières pour des besoins thermiques de 1800 kW, 90/70 °C, avec un chauffage au gaz naturel.

L'utilisation d'une chaudière UT-L 16 dont la catégorie de puissance se situe juste au-dessus, avec une capacité maximale de 2000 kW permet d'augmenter l'avantage client comme suit :

- ▶ Utilisation d'un plus petit brûleur
- ▶ Valeur de raccordement plus faible pour le moteur de brûleur
- ▶ Plage de régulation plus grande pour le brûleur
- ▶ Diminution de la fréquence de commutations du brûleur en cas de charge réduite
- ▶ Rendement supérieur de la chaudière
- ▶ Diminution de la consommation de combustible
- ▶ Diminution du taux de NO_x dans les fumées
- ▶ Diminution des coûts d'investissement, le prix plus important de la chaudière étant compensé par le prix réduit du brûleur

Figure 1 : chaudière bitube-foyer à triple parcours des fumées avec parcours séparés des gaz de combustion pour le fonctionnement individuel de brûleur et un économiseur intégré pour le réchauffement de l'eau d'alimentation

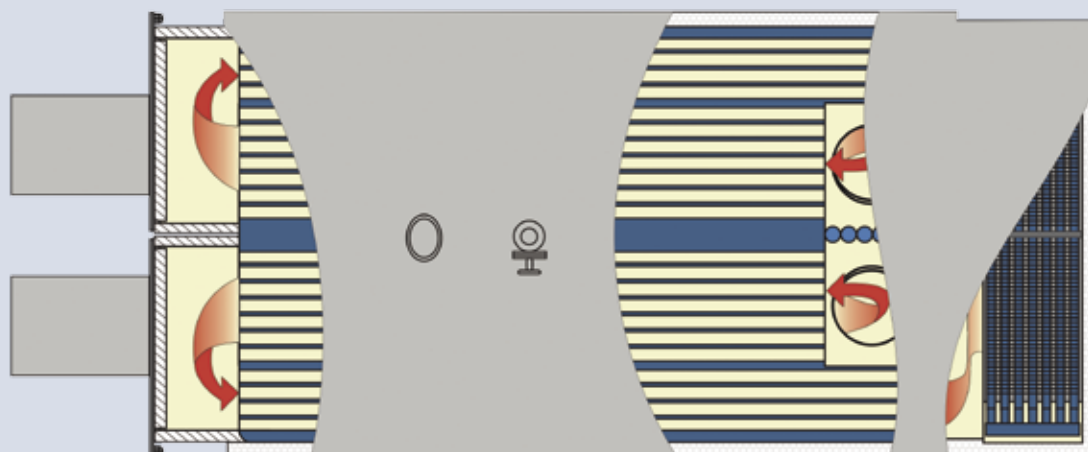


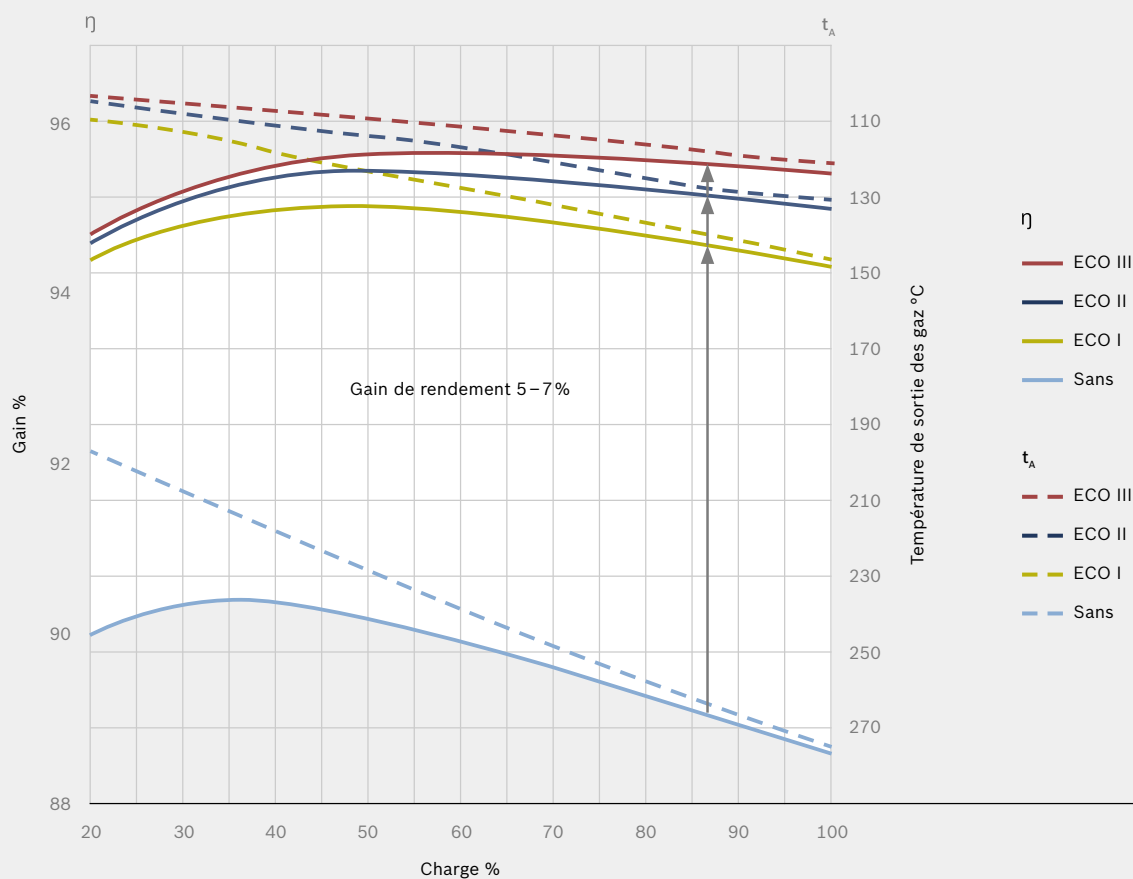
Tableau 1 : Comparaison de deux combinaisons chaudière/brûleur

Combinaison chaudière/brûleur	A	B
Type de chaudière UT-L	14	16
Puissance nominale kW	1800	1800
Capacité maximale kW	1900	2000
Perte de charge chaudière mbar	7,5	5
Type de brûleur requis G	9	20
Moteur du brûleur kW	6,5	3
Plage de régulation du brûleur	1 : 3,9	1 : 5,6
Rendement chaudière %	91,14	92,37
Volume de combustible m ³ /h	191	188
Charge au foyer spéc. MW/m ³	1,77	1,08
Taux de NO _x dans les fumées mg/m ³	150	130
Coûts d'investissement		
Chaudière + brûleur gaz %	100	93,2

Le choix d'une chaudière dans la catégorie de puissance juste au-dessus ne permet pas toujours l'utilisation d'un plus petit brûleur. C'est pourquoi il est également conseillé d'analyser les possibilités de petites réductions de puissance calorifique, en particulier pour la répartition de la puissance calorifique totale des installations à plusieurs chaudières sur plusieurs unités.

Gagner de l'argent avec les échangeurs de chaleur sur fumées

L'utilisation d'un échangeur de chaleur sur fumées offre les conditions idéales pour réaliser des économies d'énergie et protéger l'environnement.

Graphique 1 : optimisation de puissance réalisable avec échangeur de chaleur pour le fonctionnement « à sec »

Échangeur de chaleur sur fumées pour le fonctionnement « à sec »

Les générateurs de vapeur sont généralement alimentés avec de l'eau d'alimentation entièrement dégazée avec des températures d'env. 103 °C. La température des fumées à la sortie de la chaudière est fonction de la température de l'eau de chaudière et des différentes charges de chaudière. Pour optimiser la puissance, la chaleur des fumées alimente l'eau d'alimentation via un économiseur dans le parcours des fumées.

Sur les chaudières à vapeur UNIVERSAL UL-S (système monotube jusqu'à 28 t/h) et ZFR (système bitube jusqu'à 55 t/h) avec échangeur de chaleur sur fumées intégré, l'économiseur est intégré dans le compartiment isolé des fumées, prémonté et précâblé dans le cadre des dimensions de transport autorisées. Ces mesures permettent d'éviter le montage sur site ainsi qu'un socle supplémentaire. Pour les transformations ultérieures éventuelles, l'échangeur de chaleur sur fumées ECO Stand Alone peut être installé et raccordé directement derrière la chaudière.

Le fonctionnement « à sec » est adapté au fuel de chauffage et au gaz naturel également en liaison avec des cheminées sensibles à l'humidité. Il est possible de ne pas descendre en dessous du point de rosée grâce à un système de régulation de la température des fumées. Les économiseurs avec boîtiers, les conduites d'évacuation des fumées et les pièges à son éventuels peuvent être en acier. Les économiseurs pour le fonctionnement « à sec » permettent d'obtenir des rendements de chaudière supérieurs à 95% (graphique 1).

Les générateurs à eau chaude haute pression pour les systèmes de processus industriels ou les réseaux urbains fonctionnent généralement avec des températures de retour supérieures à 100 °C de manière à pouvoir également intégrer des échangeurs de chaleur sur fumées pour le fonctionnement « à sec ». Dans ce cas, une partie du débit provenant du retour passe la plupart du temps par l'échangeur de chaleur sur fumées.

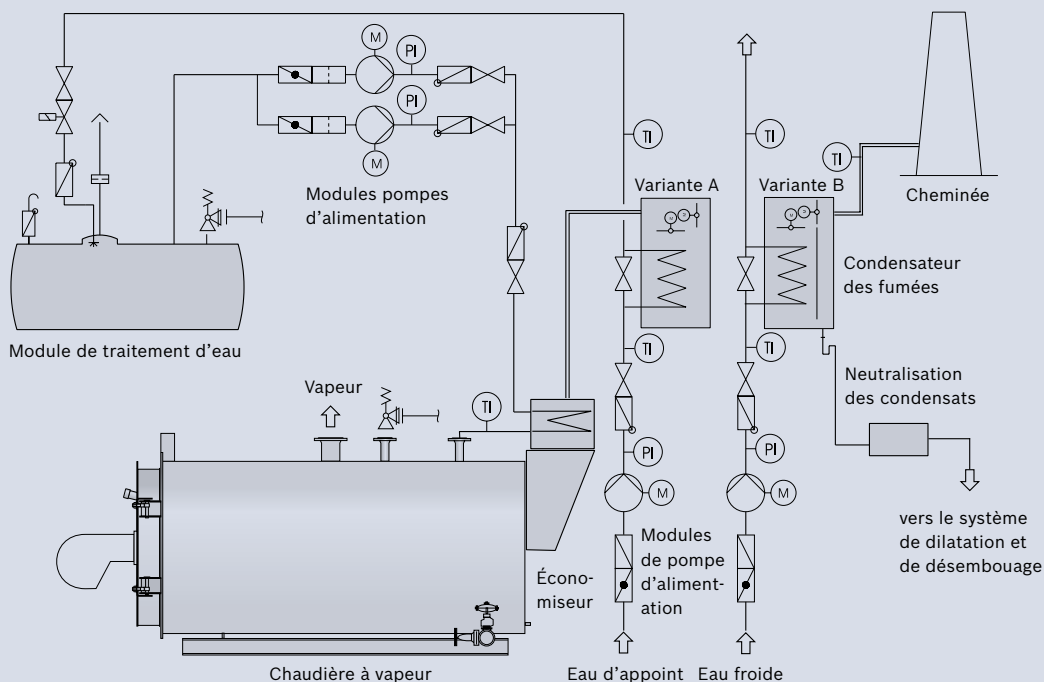
Pour les chaudières neuves, les systèmes Eco pour les générateurs à eau chaude haute pression sont intégrés dans le compartiment des fumées, pour les extensions ils sont livrés de manière à pouvoir être montés directement derrière la chaudière. Ils sont équipés en option avec un dispositif de régulation de la température côté eau et/ou côté fumées pour éviter que la température ne descende en dessous du point de rosée dans l'ECO et/ou la cheminée.

Les générateurs à eau chaude pour le chauffage direct des bâtiments fonctionnent à un niveau de température aussi faible que possible. En fonction de la température de départ/retour de la chaudière et de leur écart, on obtient des températures moyennes d'eau de chaudière comprises entre 60 et 100 °C. Avec un fonctionnement économique, les températures des fumées à la sortie de la chaudière peuvent être comprises entre 160–190 °C en pleine charge et 120–150 °C en petite charge. Les chaudières pour le chauffage des bâtiments ne fonctionnent à pleine puissance que quelques jours par an. Le nombre d'heures de fonctionnement maximum dans l'année sont situées dans la plage de charge moyenne et inférieure. Les rendements chaudières pouvant être atteints dans ces plages de charge partielle sont autour de 93–94%. Un échangeur thermique sur fumées placé en aval pour le fonctionnement « à sec » réduit les températures des fumées jusqu'à 75 °C et augmente le rendement jusqu'à 98%.

Échangeur de chaleur sur fumées pour le fonctionnement « humide »

Les générateurs de chaleur chauffés au gaz naturel produisent des fumées sans suie ni soufre. Entre temps, il existe également du fuel à faible teneur en soufre (taux maximum de soufre 50 ppm = 0,005 poids-%) qui permet d'obtenir une combustion sans résidus similaire à celle du gaz naturel. Ces fumées permettent d'utiliser la chaleur par condensation comme capacité calorifique supplémentaire.

Figure 2 : Générateur de vapeur avec fonctionnement à deux allures – Économiseur/condensateur des fumées ; Economie de combustible jusqu'à 15%
Économiseur : préchauffage de l'eau d'alimentation de la chaudière pour le fonctionnement « à sec »
Condensateur des fumées : préchauffage supplémentaire/eau chaude sanitaire pour fonctionnement « humide »



Sur les générateurs de vapeur industrielle, un deuxième échangeur de chaleur en inox est intégré en tant que condensateur des fumées pour réchauffer l'eau d'alimentation après l'économiseur du fonctionnement « à sec ». Tous les parcours de fumées suivants sont également en inox et équipés de conduites de condensats résistant à la corrosion. La condensation des fumées est applicable à condition que les consommateurs soient à basse température. Exemple : sur les sites de production à chaleur intense avec consommateurs de vapeur directs, sans reflux des condensats, l'eau supplémentaire traitée chimiquement peut être réchauffée et/ou l'eau chaude sanitaire générée ou préchauffée (figure 2).

La condensation des fumées n'est pas applicable pour les générateurs à eau chaude haute pression, les températures de retour du réseau étant nettement supérieures au point de rosée.

Les générateurs à eau chaude avec chauffage au gaz naturel ou au fuel à faible teneur en soufre peuvent également être équipés d'échangeurs de chaleur sur fumées pour le fonctionnement « humide » en vue d'optimiser la puissance (figure 3). Les circuits de chauffage basse température passent par des échangeur de chaleur sur fumées en inox et entraînent la condensation des fumées.

Le rendement de la chaudière peut être augmenté en fonction de la température de retour jusqu'à plus de 105 % par rapport au pouvoir calorifique inférieur du combustible (graphique 2). Si le chauffage est bicom bustible au gaz/fuel, l'échangeur de chaleur sur fumées est équipé d'un by-pass côté fumées et d'un clapet de réglage pour contourner l'échangeur de chaleur lorsque le fuel est à faible teneur en soufre.

Recyclage des condensats

Si l'on mesure le pH en tant que taux d'acidité présent dans les liquides, les condensats des fumées ont un pH compris entre 2,8 et 4,9 pour le gaz naturel ou de 1,8 à 3,7 pour le fuel à faible teneur en soufre. Les températures des condensats sont comprises entre 25 et 55 °C. En ce qui concerne la neutralisation, on utilise sur les petites installations des filtres avec cartouche renouvelable en dolomite et sur les grandes installations des réservoirs avec systèmes de dosage pour soude caustique. Si le dispositif de neutralisation choisi est approprié avec les bonnes dimensions, les valeurs autorisées pour l'introduction des condensats dans les réseaux publics d'eaux usées peuvent être respectées. L'introduction doit être autorisée par l'administration compétente.

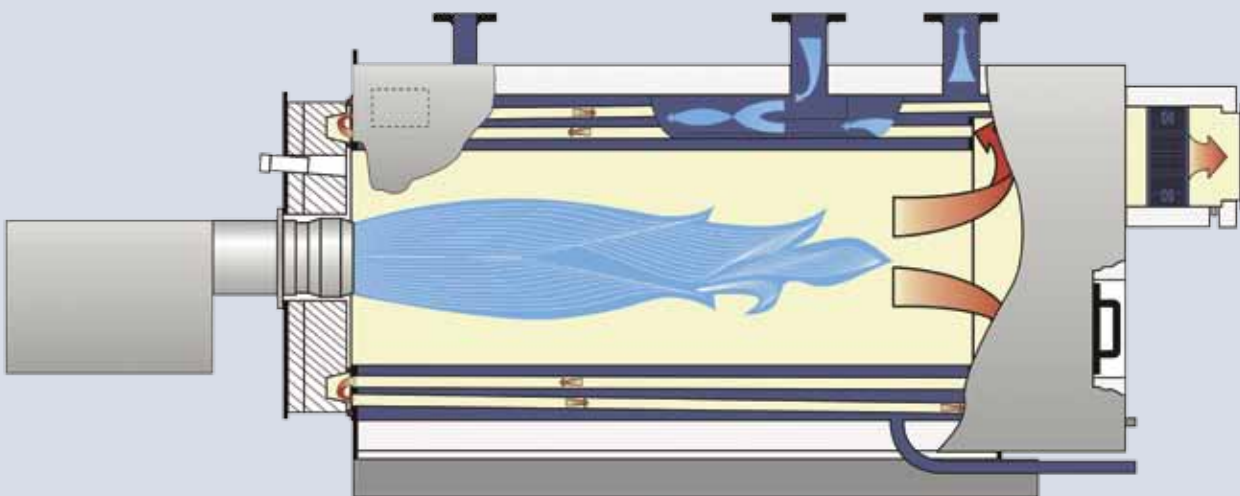
Installations à plusieurs chaudières avec fonctionnement en cascade à fins d'optimisation

La conception des installations à plusieurs chaudières permet d'augmenter la rentabilité totale et d'optimiser la puissance. L'exemple représente une installation à plusieurs chaudières pour le chauffage des bâtiments. Par rapport aux installations à une chaudière, les exigences requises pour la commutation hydraulique et les techniques de régulation sont plus élevées.

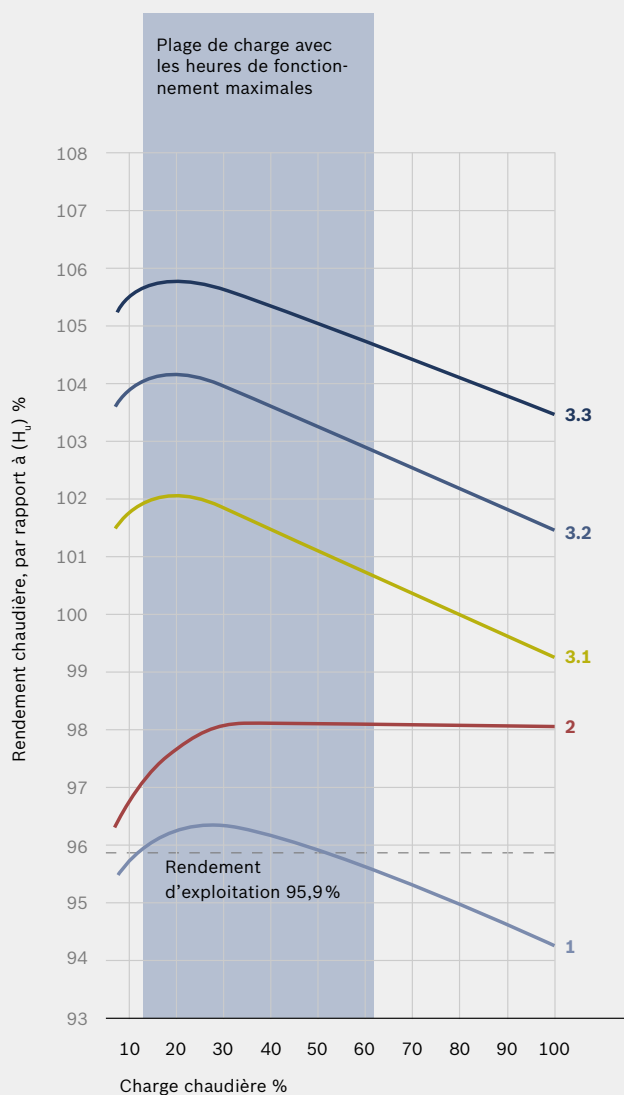
Régulation du circuit de chauffage

Les consommateurs exigent une adaptation parfaite aux besoins thermiques existants avec une sécurité d'approvisionnement maximale. Les capacités thermiques variables sont mises à disposition de préférence avec des débits constants et des températures variables. Pour cela, on utilise des vannes de mélange à trois voies dans les circuits de chauffage pour l'introduction de l'eau de retour dans le départ. La régulation de la température de départ du circuit de chauffage en fonction des intempéries agit sur les vannes de régulation des vannes de mélange à trois voies et alimente les consommateurs à la température d'eau de chauffage nécessaire sur le moment pour assurer une capacité thermique suffisante.

Figure 3 : chaudière à eau chaude monotube-foyer avec triple parcours des fumées et échangeur de chaleur sur fumées



Graphique 2 : courbes de rendement pour les chaudières à eau chaude UNIMAT avec départ/retour chaudière 70/50 °C



- 1 Chaudière sans échangeur de chaleur sur fumées
- 2 Chaudière avec échangeur de chaleur sur fumées pour le fonctionnement « à sec »
- 3 Chaudière avec échangeur de chaleur sur fumées et « utilisation de la condensation »
- 3.1 Température d'entrée d'eau 50 °C
- 3.2 Température d'entrée d'eau 40 °C
- 3.3 Température d'entrée d'eau 30 °C

La régulation du circuit de chaudière

Les chaudières à eau chaude demandent en priorité de respecter une température de retour minimale pour éviter des valeurs inférieures au point de rosée. Pour cela, dans les circuits hydrauliques de chaudière, on utilise par ex. des vannes de mélange à trois voies pour introduire l'eau de départ dans le retour (maintien d'une température de retour élevée). La capacité thermique à produire par une ou plusieurs chaudières à eau chaude est augmentée ou diminuée en fonction de la température extérieure, de la température de départ et de l'écart entre la température de départ/retour.

Si la capacité thermique de la chaudière principale ne suffit pas, la pompe du circuit chaudière et le brûleur de la chaudière secondaire sont activés dans l'ordre. La chaudière secondaire est d'abord réchauffée dans le circuit chaudière à une température de retour minimale. La chaleur est ensuite restituée par le mélangeur à trois voies dans le départ du système (figure 4). Si les besoins thermiques diminuent, la puissance du brûleur diminue également. Pour éviter de trop nombreuses commutations, le brûleur commute par temporisations (allures).

Débits

La commutation hydraulique de cette installation à plusieurs chaudières permet d'obtenir avec les régulations du circuit chaudière d'abord et les régulations du circuit de chauffage ensuite des débits différents qui s'influencent mutuellement. Avec un côté primaire et secondaire « rigide » et une commutation en série, le débit primaire peut, par ex. avec la fermeture des mélangeurs du circuit de chauffage, aller sur zéro de manière telle que les exigences requises ne sont pas remplies, à savoir un débit minimum pour la chaudière à eau chaude et une alimentation constante de la sonde de départ pour l'ordre des chaudières.

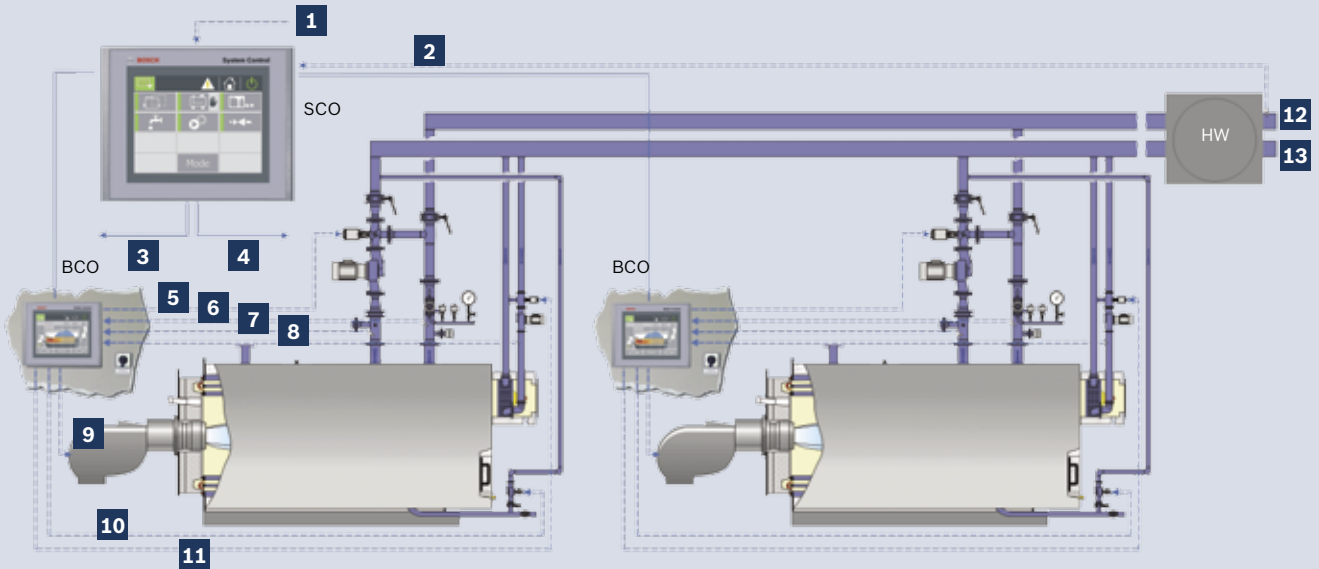
Bouteille de mélange hydraulique

L'utilisation d'une bouteille de mélange hydraulique représente une solution parfaitement fiable à ce type de problèmes. Elle permet d'assurer entièrement le découplage hydraulique des débits côté primaire et secondaire et d'exclure l'influence mutuelle. En positionnant la sonde de départ commune sur la sortie secondaire, l'alimentation de la sonde est garantie avec la première demande de chauffe. Les chaudières qui ne sont pas en service sont isolées hydrauliquement conformément à la réglementation relative aux installations de chauffage. Chaque chaudière est alimentée avec un débit presque constant. Les pompes du circuit chaudière doivent être réparties conformément aux puissances nominales des chaudières à eau chaude. Leur volume total doit correspondre au moins à 1,1 fois, au maximum 1,5 fois, le débit total du circuit de chauffage.

Régulation

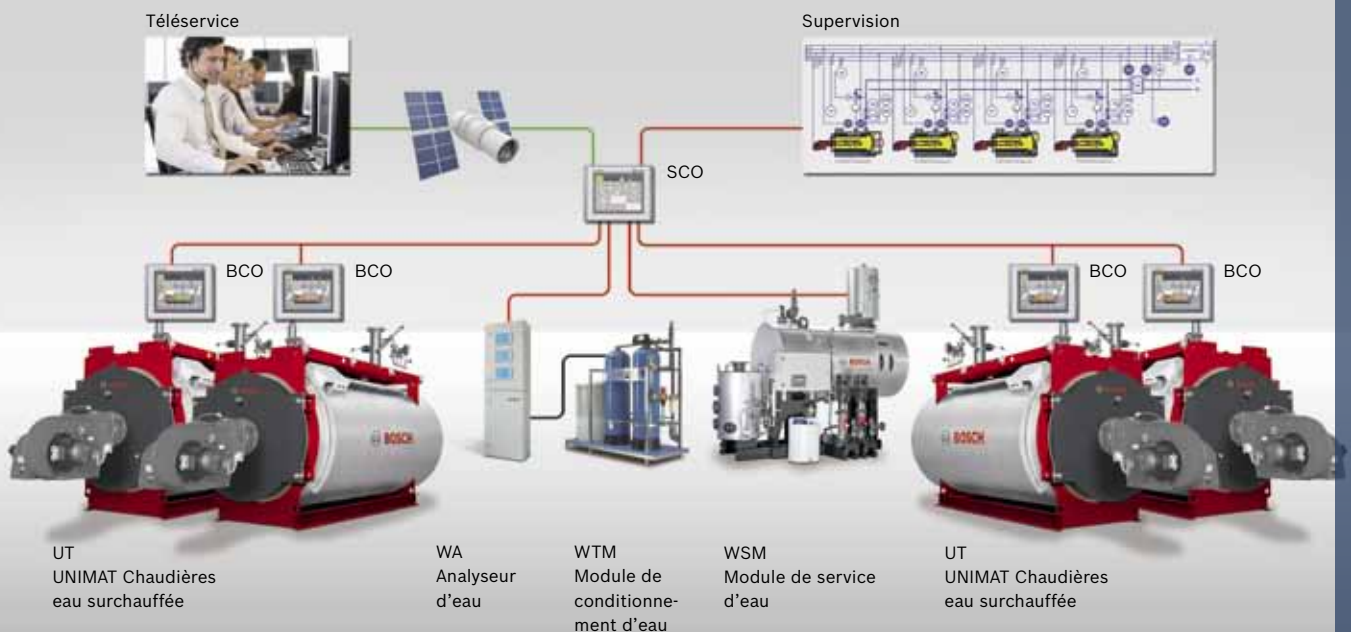
Le fonctionnement fiable et la capacité d'optimisation d'une installation à plusieurs chaudières exigent l'utilisation d'un système de régulation puissant. Outre l'exécution de régulations relatives au fonctionnement, il faut également cibler une consommation d'énergie minimale et une protection environnementale maximale. Le système de régulation doit être en mesure de faire fonctionner l'installation en cascade en fonction des intempéries (régulation en fonction de la température de départ du réseau ou de la quantité de chaleur). Le contrôle des chaudières à eau chaude, la régulation ainsi que la mise en marche et l'arrêt du brûleur et des pompes du circuit chaudière sont pris en charge par la régulation correspondante du circuit chaudière. Un système bus commun permet d'assurer l'échange permanent des données entre les commandes individuelles de chaudières BOILER CONTROL (BCO) et le système de gestion en amont SYSTEM CONTROL (SCO) de manière à ce que l'installation fonctionne automatiquement aux conditions maximales.

Figure 4 : Installation de chaudière à eau chaude en fonction des intempéries avec bouteille de mélange hydraulique



- | | |
|---|---|
| 1 Température extérieure | 7 Température de retour |
| 2 Température d'alimentation réseau pour commande ordre de chaudière | 8 ECO/Température d'entrée |
| 3 Téléservice | 9 Régulation de puissance |
| 4 Télégestion centralisée | 10 Maintien en température |
| 5 Sécurisation de la température de retour | 11 ECO/Régulation de la température d'entrée |
| 6 Température de départ | 12 Départ |
| | 13 Retour |

Figure 5 : système de gestion chaudière et installation BCO/SCO avec une installation complexe de chaudières à eau chaude



Récapitulatif

L'optimisation de la puissance commence avec la saisie précise des paramètres de puissance capacité de chaleur, pression et température. Les besoins relatifs aux charges de pointe et petites charge sont déterminants. Il en résulte une répartition sur plusieurs unités de chaudières avec puissance adaptée. Il faut décider de séparer ou non la chaleur pour le chauffage et la production.

Pour les grandes puissances, l'utilisation de chaudières bitubes foyer représente des avantages d'optimisation pour le fonctionnement individuel des deux combustions. La chaudière et le brûleur devraient être considérées en tant qu'unité de fonctionnement pour que le fabricant de chaudières puisse déterminer une combinaison optimale chaudière-brûleur en fonction des besoins. Différents systèmes de récupération de la chaleur des fumées peuvent être utilisés en fonction des combustibles disponibles.

L'optimisation maximale de la puissance est obtenue avec l'utilisation maximale de la condensation des fumées. Les installations à plusieurs chaudières offrent des possibilités variées d'optimisation de la puissance grâce à l'utilisation de commandes à mémoire programmable. Les chaudières à eau chaude peuvent fonctionner avec un rendement maximum en fonction des intempéries si la commutation hydraulique est sélectionnée en conséquence.

Le concepteur dispose de possibilités diverses pour réaliser des installations de génération de chaleur avec optimisation de puissance. Des approches individuelles détaillées sont recommandées avec un comparatif des différentes alternatives de matières et d'énergies.

Les installations de production:
Usine de fabrication 1 Gunzenhausen
Bosch Industriekessel GmbH
Nürnberger Straße 73
91710 Gunzenhausen
Allemagne

Usine de fabrication 2 Schlungenhof
Bosch Industriekessel GmbH
Ansbacher Straße 44
91710 Gunzenhausen
Allemagne

Usine de fabrication 3 Bischofshofen
Bosch Industriekessel Austria GmbH
Haldenweg 7
5500 Bischofshofen
Autriche

www.bosch-industrial.com

© Bosch Industriekessel GmbH | Figures uniquement à titre d'exemple | Sous réserve de modifications | 07/2012 | TT/SLI_fr_FB-Planungsgrundsätze_01