

Automatische Holzfeuerungen werden mit verschiedenen Regelkreisen ausgerüstet um einen störungsfreien und emissionsarmen Betrieb zu gewährleisten. Die wichtigsten Regelkreise umfassen die Unterdruckregelung, die Leistungsregelung und die Verbrennungsoptimierung, welche in diesem Beitrag beschrieben werden.

*Les installations de combustion automatiques sont équipées de divers circuits de régulation destinés à assurer un fonctionnement fiable et de faibles émissions. Cet article s'attache à décrire les principaux circuits de régulation, au nombre desquels on compte la régulation de la dépression, la régulation de la puissance, et l'optimisation de la combustion.*

# Regelung von automatischen *Régulation des chaudières*

PD Dr Thomas Nussbaumer



photo: Thiba-Müller AG

Moderne automatische Holzfeuerung mit CO/Lambda-Regelung.  
Installation moderne de chaudière au bois avec régulation par sondes CO et lambda.

**D** Die Grundlagen dieser Regelprozesse sind ausgeführt in den Arbeiten von Good [1992], Nussbaumer und Good [1995], Nussbaumer und Good [1998] und Padinger et al [1990].

Die Unterdruckregelung hat eine sicherheitstechnische Funktion zur Verhinderung des Schwelgasaustrittes in den Feuerraum und sie ist verantwortlich für die Grobeinstellung der Verbrennungsbedin-

gungen, indem durch den Abgasventilator die Verbrennungsluftmenge und damit die Leistung beeinflusst werden. Daneben sind verschiedene weitere sicherheitstechnische Einrichtungen erforderlich. Diese umfassen Massnahmen zur Verhinderung eines unzulässigen wasserseitigen Druckanstiegs, Einrichtungen zur Verhinderung unzulässiger Konzentrationen durch Schwelgase und allenfalls Gärgase im Heizraum und vor allem Brandschutzvorkehrungen. Zur Verhinderung einer Brandausbreitung von der Feuerung in den Heizraum wird in der Regel eine thermische Rückbrandsicherung eingesetzt, bei welcher ein in der Brennstoffzuführung angebrachter Temperaturfühler beim Überschreiten einer vorgegebenen Temperatur ein Wasserventil zum Fluten der Brennstoffzuführung öffnet. Auf die sicherheitstechnischen Einrichtungen wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

# Heizkesseln automatischen

stanter Unterdruck erleichtert auch die Grobeinstellung der gewünschten Verbrennungsluftmenge.

LEISTUNGSREGELUNG  
Automatische Feuerungen verfügen über eine Leistungsregelung, welche einen Betrieb bei mehreren fest vorgegebenen Leistungen oder einen annähernd stufenlosen Betrieb ermöglichen. Anhand einer leistungsspezifischen Information werden die

## LEISTUNGSREGELUNG

ständer Unterdruck erleichtert auch die Grobeinstellung der gewünschten Verbrennungsluftmenge.

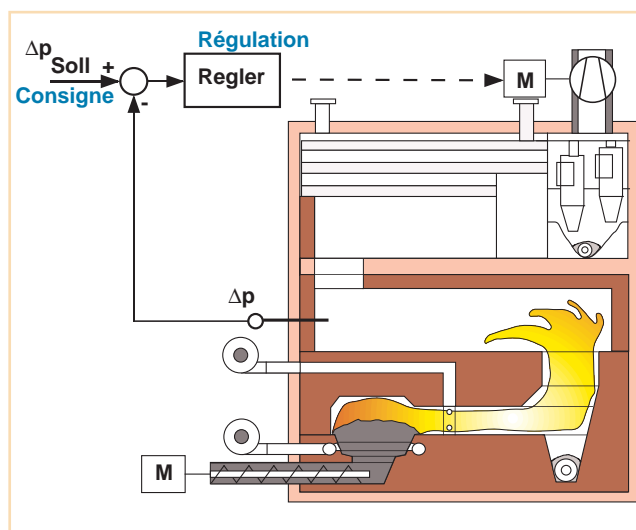


Abbildung 1: Funktionsprinzip der Unterdruckregelung: Messung des Feuerraumunterdrucks  $D_p$  und Regelung des Abgasventilators zur Konstanthaltung des Unterdrucks.

Figure 1 : Principe de fonctionnement de la régulation de la dépression : mesure de la dépression du foyer  $D_p$  et régulation du ventilateur des fumées afin de maintenir la dépression constante.

**F** Les travaux de Good [1992], Nussbaumer et Good [1995], Nussbaumer et Good [1998] et de Padinger et al. [1990] détaillent ces processus de régulation.

La régulation de la dépression assume une fonction de sécurité en empêchant que les gaz pauvres ne s'échappent dans la chaufferie. Elle permet aussi une première régulation des conditions de combustion par l'intermédiaire d'un ventilateur de fumées qui agit sur la quantité d'air comburant et influence ainsi la puissance de la chaudière. Différents équipements complémentaires sont nécessaires à la sécurité de l'installation. Il s'agit de mesures visant à prévenir une augmentation de la pression de l'eau, de dispositifs destinés à empêcher les concentrations trop élevées de gaz pauvres et éventuellement de gaz de fermentation dans la chaufferie, et enfin et surtout, de mesures de prévention des incendies. Afin d'empêcher que le feu ne se propage du foyer à la chaufferie, on installe en principe une sécurité thermique anti-feu : une sonde de température placée sur le dispositif d'alimentation en combustible commande l'ouverture d'une vanne d'eau qui inonde ce dernier dès que la température de consigne est dépassée. Cet ar-

ticle ne détaille pas davantage les différents équipements de sécurité.

## RÉGULATION DE LA DÉPRESSION

La dépression dans la chambre de combustion se mesure à l'aide d'une sonde de pression différentielle. Les écarts par rapport à la valeur de consigne programmée se corrigent par exemple en modifiant la vitesse du ventilateur des fumées (Cf. fig. 1).

La régulation de la dépression garantit une dépression constante dans le foyer et empêche que les gaz combustibles et toxiques ne s'échappent dans la chaufferie. Elle facilite le passage de l'air primaire à travers le lit de braises et permet également de maintenir des conditions de combustion constantes, indépendamment du tirage de la cheminée. Une dépression constante facilite également une première régulation de la quantité d'air comburant souhaitée.

## RÉGULATION DE LA PUISSANCE

Les installations automatiques sont équipées d'une régulation de la puissance qui permet soit un fonctionnement sur plusieurs puissances prédéterminées, soit un fonctionnement quasiment en continu.

Sur la base d'informations spécifiques de puissance, on fait varier les apports de combustible et d'air comburant par plages de quelques pourcents de la puissance nominale, ou on les modifie en continu (Cf. fig. 2).

On prendra par exemple comme information spécifique de puissance la différence de température de la chaudière, et la tendance de cette valeur. Pour des installations avec débit d'eau constant, il est possible d'utiliser la différence de température entre l'entrée et la sortie de la chaudière et pour les installations munies de compteurs de chaleur, on peut recourir à la puissance fournie ou à la puissance nécessaire. La plupart des installations automatiques au bois est aujourd'hui équipée d'une régulation de puissance qui permet un fonctionnement continu au moins entre 50

▷ Brennstoff- und die Verbrennungsluftzufuhr in Schritten von einigen Prozenten der Nominalleistung variiert oder stufenlos verändert (Abbildung 2). Als leistungsspezifische Information dient beispielsweise die Differenz zwischen dem Istwert und dem aussentemperaturabhängigem Sollwert der Kesseltemperatur sowie dem Trend dieses Wertes. Bei Anlagen mit konstantem Wassermassenstrom kann auch die Temperaturdifferenz zwischen Kesseleintritt und -austritt verwendet werden und bei Anlagen mit Wärmezählern die momentan erzeugte oder erforderliche Leistung. Bei den meisten automatischen Holzfeuerungen ist heute eine Leistungsregelung vorhanden, die einen kontinuierlichen Betrieb mindestens zwischen 100% und 50% Last erlaubt. Sofern nicht Brennstoffe mit sehr hohem Wassergehalt eingesetzt werden, beträgt der Leistungsbereich häufig 100% bis 30%. Mit einer Leistungsregelung kann der Jahresnutzungsgrad erhöht werden, da die Bereitschaftsverluste infolge längerer Betriebszeiten der Feuerung vermindert werden.

Unterhalb des minimalen Leistungsbedarfs, welcher von der Feuerung im kontinuierlichen Betrieb erbracht werden kann, werden die Anlagen im Ein-/Aus-Betrieb gefahren. Für einen vollautomatischen Betrieb muss die Feuerung bei Bedarf aus dem Ein-/Aus-Betrieb angefahren werden können. Dies wird durch eine automatische Zündvorrichtung z.B. mittels Heissluftgebläse oder durch die Aufrechterhaltung eines Glutbetts durch periodisches Nachschieben von Brennstoff erreicht. Der Ein-/Aus-Betrieb führt in der Regel zu höheren Emissionen als ein kontinuierlicher Dauerbetrieb, der Betrieb mit Glutunterhalt zu erhöhten Stillstandsverlusten. Da Holzfeuerungen auf Änderungen des Wärmebedarfs nur träge reagieren können, sollten schnelle Bedarfsänderungen durch geeignete Massnahmen bei den Wär-

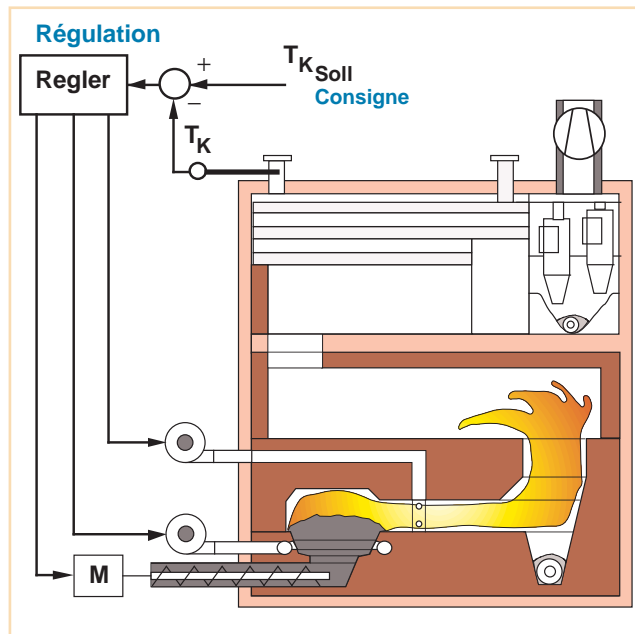


Abbildung 2: Funktionsprinzip der Leistungsregelung: Messung der Kesseltemperatur TK (Vorlauftemperatur des Wassers) und Regelung der Brennstoff- und Luftmenge in Abhängigkeit des Wärmebedarfs.

Figure 2 : Principe de fonctionnement de la régulation de puissance. Mesure de la température de la chaudière TK (température départ de l'eau) et régulation des quantités de combustible et d'air en fonction des besoins en chaleur.

mebezügern (zum Beispiel eine zeitliche Staffelung von Beginn und Ende einer Nachtabsenkung) oder durch einen Wärmespeicher vermieden werden.

### LEISTUNGS- UND VERBRENNUNGSREGELUNG

#### Verbrennungsregelung.

▷ % et 100 % de charge. Tant que le combustible utilisé n'est pas trop humide, la plage de puissance se situe en général entre 30 et 100 %. Une régulation de la puissance peut augmenter le rendement annuel puisque les pertes liées aux périodes de veille sont diminuées. En dessous du seuil de puis-

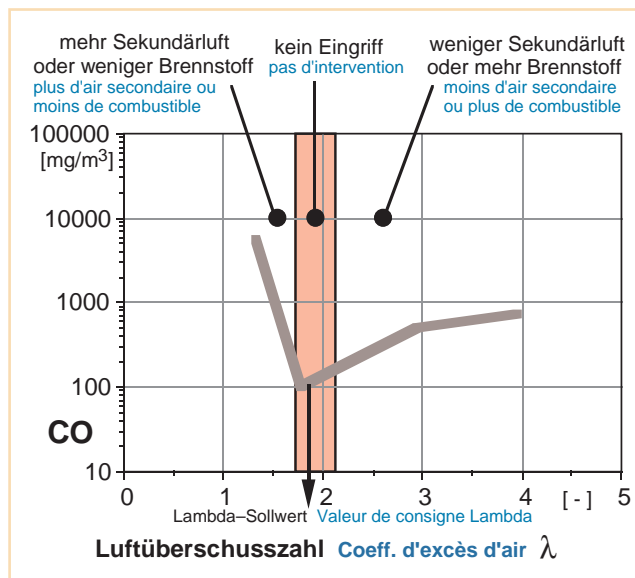


Abbildung 3: Funktionsprinzip der Verbrennungsregelung anhand der CO/Lambda-Charakteristik.

Figure 3 : Principe de fonctionnement de la régulation de la combustion selon la grandeur CO/Lambda.

sance minimum qui peut être atteint par le foyer en fonctionnement continu, les installations sont exploitées en mode marche / arrêt. Pour un fonctionnement entièrement automatisé, il faut pouvoir faire démarrer l'installation autrement qu'en mode marche / arrêt. Pour cela, on peut recourir à un dispositif d'allumage automatique, par exemple par l'intermédiaire de ventilateurs à air chaud ou d'un maintien du lit de braises assuré par une alimentation périodique en combustible. Un fonctionnement en mode marche / arrêt induit en général plus d'émissions qu'un fonctionnement en continu, et le maintien du lit de braises provoque d'importantes pertes durant les phases de veille.

Etant donné que les installations de combustion du bois ne peuvent pas réagir promptement aux variations des besoins en chaleur, il serait préférable d'éviter de passer rapidement d'une puissance à une autre, et d'employer des mesures appropriées comme par exemple une variation progressive au début et à la fin de la baisse nocturne, ou encore de prévoir un ballon tampon.

### RÉGULATION DE LA PUISSANCE ET DE LA COMBUSTION

#### Régulation de la combustion.

La régulation de la combustion sert à assurer une haute qualité de combustion et un rendement élevé. Une excellente combustion repose sur un certain rapport air/combustible.

Etant donné que les caractéristiques du combustible comme la masse volumique apparente, l'humidité sur sec et l'essence sont susceptibles de varier, une installation dépourvue d'un dispositif d'optimisation de la combustion nécessite d'être à nouveau réglée à chaque changement de combustible. Ceci étant impossible dans la pratique, les installations de combustion automatiques sont munies d'une régulation qui surveille les conditions de combustion et régule le foyer.

A partir de la grandeur CO/Lambda, on peut expliquer le principe de fonctionnement de la régulation de la combustion (Cf. fig. 3).

Verbrennungsregelung	Regelgrößen	Stellgröße	Bemerkungen
O <sub>2</sub> - oder Lambda-Regelung	Sauerstoffgehalt	Brennstoffmenge Verbrennungsluftmenge Sekundärluftmenge	Standard Standard Standard
Verbrennungstemperatur-Regelung	Verbrennungstemperatur	Brennstoffmenge Verbrennungsluftmenge Sekundärluftmenge	Standard geringe Bedeutung geringe Bedeutung
Lambda- und Verbrennungstemperatur-Regelung	Sauerstoffgehalt O <sub>2</sub> und Verbrennungstemperatur TV	Sekundärluftmenge via O <sub>2</sub> und Brennstoffmenge via TV	Standard
CO-Regelung	CO-Gehalt	Sekundärluftmenge	geringe Bedeutung
CO/ Lambda-Regelung	Sauerstoff- und CO-Gehalt	Brennstoffmenge  Verbrennungsluftmenge Sekundärluftmenge	Leistungsfähiger, neuer Standard mit Sollwertoptimierung geringe Bedeutung geringe Bedeutung
Eine der oben genannten Regelungen ergänzt mit Schichthöhen-Regelung (bei Rostfeuerungen)	oben genannte Regelgrößen und Schichthöhe	zusätzlich: Rostbewegung	einzelne Anwendungen

Tabelle 1 : Varianten der Verbrennungsregelung eingeteilt nach Regel- und Stellgrößen.

Tableau 1 : Variantes de la régulation de la combustion selon les grandeurs régulatrices et les moyens d'actions.

Régulation de la combustion	Grandeur régulatrice	Moyens d'action	Remarques
Régulation O <sub>2</sub> ou Lambda	Taux d'oxygène	quantité de combustible Quantité d'air comburant Quantité d'air secondaire	Standard Standard Standard
Régulation de la température de combustion	Température de combustion	Quantité de combustible Quantité d'air comburant Quantité d'air secondaire	Standard Faible importance Faible importance
Régulation Lambda et régulation de la température de combustion	Taux d'oxygène O <sub>2</sub> et température de combustion Tv	Quantité d'air secondaire via O <sub>2</sub> et quantité de combustible via Tv	Standard
Régulation CO	Taux de CO	Quantité d'air secondaire	Faible importance
Régulation CO/Lambda	Taux d'oxygène et de CO	Quantité de combustible  Quantité d'air comburant Quantité d'air secondaire	Plus efficace, nouveau standard grâce à une optimisation de la valeur de consigne Faible importance Faible importance
L'une des régulations citées ci-dessus conjuguée à une régulation de l'épaisseur de la couche (pour les foyers à grille).	Grandeurs régulatrices citées ci-dessus conjuguée à l'épaisseur de la couche	avec en plus : déplacement de la grille	Applications peu nombreuses

Die Verbrennungsregelung dient zur Gewährleistung einer hohen Ausbrandqualität und eines hohen Wirkungsgrads. Eine sehr gute Verbrennung wird bei einer Holzfeuerung innerhalb eines gewissen Betriebsbereichs des Brennstoff/Luft-Verhältnisses erzielt, siehe dazu auch Kap. 3.1.7. Da sich die Brenneigenschaften wie Schüttdichte, Feuchtigkeit, Holzart usw. verändern können, müsste eine Anlage ohne Verbrennungsoptimierung bei jeder Brennstoffänderung neu einreguliert werden. Da dies in der Praxis kaum möglich ist, werden automatische Feuerungen mit einer Regelung ausgestattet, welche die Verbrennungsbedingungen

überwacht und die Feuerung optimal einreguliert. Anhand der CO/Lambda-Charakteristik kann das Funktionsprinzip der Verbrennungsregelung erläutert werden, siehe dazu Abbildung 3. Bei niedrigem Luftüberschuss bewirkt die Verbrennungsregelung eine Erhöhung der Sekundärluftmenge oder eine Verminderung der Brennstoffmenge zur Vermeidung von hohen CO-Emissionen. Im Bereich des optimalen Luftüberschusses erfolgt kein Eingriff, um den Verbrennungsprozess nicht unnötig zu stören. Im Bereich von hohem Luftüberschuss verringert die Verbrennungsregelung die Sekundärluftmenge oder erhöht die Zufuhr von >

*Si l'excès d'air est bas, la régulation de la combustion augmente l'apport d'air secondaire ou diminue la quantité de combustible afin d'éviter d'importantes émissions de CO. Si l'excès d'air est optimal, la régulation ne déclenche aucune modification afin de ne pas perturber inutilement le processus de combustion. Si l'excès d'air est élevé, la régulation de la combustion diminue l'apport d'air secondaire ou augmente l'alimentation en combustible afin d'éviter qu'apparaissent des phases de combustion à faible rendement et des températures de combustion insuffisantes. Le tableau 1 distingue les différents principes de régulation de la combustion en fonction de la grandeur régulatrice utilisée.*

**Régulation en cascade de la puissance et de la combustion.**  
Afin d'assurer un fonctionnement de l'installation en toute sécurité, il est nécessaire de définir une répartition claire des tâches entre la régulation de la puissance et la régulation de la combustion.  
L'interaction de deux circuits de régulation se manifeste sous forme de cascade dans laquelle la régulation de la puissance influence la puissance en tant que circuit de régulation lent et dominant, et fournit également des instructions à la régulation de la combustion qui est un circuit de régulation interne et rapide. La régulation de la puissance définit soit la quantité d'air, soit la quantité de combustible, et transmet une va- >

▷ Brennstoff zur Vermeidung von Verbrennungsphasen mit niedrigem Wirkungsgrad und niedrigen Verbrennungstemperaturen.

In der Tabelle 1 werden verschiedene Prinzipien der Verbrennungsregelung auf Grund der verwendeten Regelgröße unterschieden:

**Kaskade von Leistungs- und Verbrennungsregelung.**

Um einen sicheren Betrieb der Feuerung zu gewährleisten, sollte zwischen der Leistungs- und der Verbrennungsregelung eine klare Aufgabenteilung herrschen. Das Zusammenspiel der beiden Regelkreise erfolgt dabei als Kaskade (Abbildung 4), in welcher die Leistungsregelung als übergeordneter, langsamer Regelkreis die Leistung beeinflusst und gleichzeitig Vorgabewerte an die Verbrennungsregelung als in-

Abbildung 4: Kaskade von Leistungs- und Verbrennungsregelung: Leistungsregelung als übergeordneter, langsamer Regelkreis und Verbrennungsregelung (z.B. Lambda-Regelung) als innerer, schneller Regelkreis.

Figure 4 : Principe de la cascade entre la régulation de la puissance et la régulation de la combustion : la régulation de la puissance est un circuit dominant et lent alors que la régulation de la combustion (par ex. la régulation Lambda) est un circuit de régulation interne et rapide.

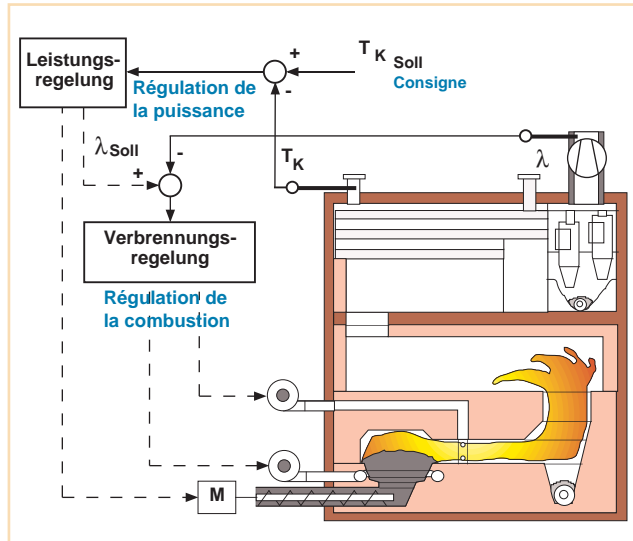


Abb. 5: Lambda-Sonde  
Fig. 5: Sonde Lambda

neren, schnellen Regelkreis liefert. Die Leistungsregelung gibt entweder die Luft- oder die Brennstoffmenge vor und

sie übermittelt einen Sollwert an die untergeordnete Verbrennungsregelung, welche die Feinregulierung der

▷ leur de consigne à la régulation de la combustion qui lui est subordonnée. La régulation de la combustion ajuste précisément les quantités de combustible et d'air (Cf. fig. 4).

Le tableau 2 reproduit les différentes combinaisons qui sont réalisées en pratique, entre la régulation de la puissance et la régulation de la combustion :

Leistungsregelung via	Verbrennungsregelung	via
Verbrennungsluft	Lambda-Regelung	Brennstoff (Abbildung 3.53)
	CO/Lambda-Regelung	Brennstoff (Abbildung 3.55)
	Verbrennungstemperatur-Regelung	Brennstoff (Abbildung 3.54)
Primärluft	Verbrennungstemperatur-Regelung und Lambda-Regelung	Brennstoff Sekundärluft
	Verbrennungstemperatur-Regelung und CO/Lambda-Regelung	Brennstoff Sekundärluft
	Verbrennungstemperatur-Regelung und CO/Lambda-Regelung	Brennstoff Sekundärluft
	Schichthöhenregelung und Lambda-Regelung	Brennstoff Sekundärluft
	Schichthöhenregelung und CO/Lambda-Regelung	Brennstoff Sekundärluft
Brennstoff	Lambda-Regelung	Verbrennungsluft
	CO/Lambda-Regelung	Verbrennungsluft
	Verbrennungstemperatur-Regelung	Verbrennungsluft
	Schichthöhenregelung und Lambda-Regelung	Primärluft Sekundärluft
	Schichthöhenregelung und CO/Lambda-Regelung	Primärluft Sekundärluft

Tabelle 2 : Kombinationen von Leistungs- und Verbrennungsregelung.

*Les principes de la régulation de la combustion sont expliquées ci-après*

**Régulation Lambda.**

La régulation Lambda consiste à mesurer le coefficient d'excès d'air au moyen d'une sonde Lambda, par exemple (Cf. fig. 5).

L'excès d'air est régulé par la quantité de combustible, d'air comburant ou d'air secondaire. La valeur de consigne de l'excès d'air est fixée en fonction de la puissance et bien sûr en fonction des caractéristiques du combustible. Afin d'éviter des situations de manque d'air, la valeur de consigne doit être très haute pour les applications pratiques. Ceci engendre une perte de rendement qui peut être évitée par la régulation CO/Lambda (Cf. fig. 6).

**Régulation de la température de combustion.**

La régulation de la température de combustion consiste à mesurer la température de la flamme au niveau du foyer à l'aide d'une sonde de température. La régulation de la température de combustion agit par exemple sur la quantité de combustible. Si la température descend trop bas, la quantité de combustible est augmentée, si au contraire elle dépasse une certaine limite, la quantité de combustible est diminuée. A la différence de la régulation Lambda, la régulation de la température de combustion doit tenir compte du fait que le fonctionnement à puissance réduite et le démarrage avec un foyer froid ou chaud influencent le niveau de température. C'est pourquoi la valeur de consigne de la température de combustion doit être fixée en fonction de la puissance, de même que le démarrage avec un foyer froid nécessite d'être contrôlé jusqu'à ce que la température de combustion ait atteint un certain niveau (Cf. fig. 7).

**Régulation CO/Lambda.**

La régulation CO/Lambda consiste à mesurer l'excès d'air et le taux de monoxyde de carbone à l'aide par exemple d'une sonde Lambda et d'une sonde CO. Par rapport à la régulation Lambda, la régulation

Brennstoff- oder der Luftmenge übernimmt.

Tabelle 2 zeigt verschiedene Kombinationen von Leistungs- und Verbrennungsregelung, die in der Praxis eingesetzt werden:

Die Prinzipien der Verbrennungsregelung werden nach-

Bei der Verbrennungstemperatur-Regelung wird die Flamm- bzw. Feuerraumtemperatur mittels Thermoelementen gemessen. Die Regelung der Verbrennungstemperatur erfolgt z.B. durch Beeinflussung der Brennstoffmenge. Bei zu tiefer Temperatur wird die Brennstoffmenge erhöht, bei zu hoher

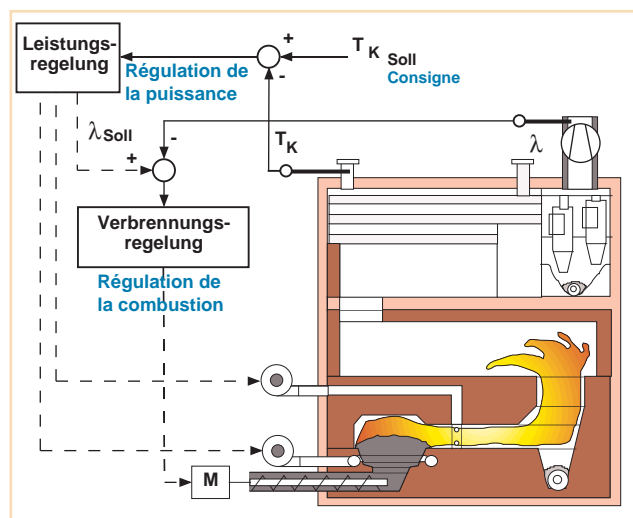


Abbildung 6: Funktionsprinzip der Lambda-Regelung: Messung des Luftüberschusses und Regelung der Brennstoffmenge, Vorgabe der Verbrennungsluftmenge durch Leistungsregelung.

Figure 6 : Principe de fonctionnement de la régulation Lambda : mesure de l'excès d'air et régulation de la quantité de combustible, quantité d'air comburant fixée par la régulation de la puissance.

folgend erläutert.

### Lambda-Regelung.

Bei der Lambda-Regelung erfolgt die Messung des Luftüberschusses zum Beispiel mittels Lambda-Sonde (Cf. fig. 5). Der Luftüberschuss wird dabei durch die Brennstoffmenge, die Verbrennungsluftmenge oder die Sekundärluftmenge geregelt und der Sollwert des Luftüberschusses in Abhängigkeit der Leistung und allenfalls der Brennstoffeigenschaften vorgegeben. Um Luftmangelsituationen zu vermeiden, muss der Sollwert für Praxisanwendungen auf der konservativen Seite, also zu hoch, angesetzt werden. Dadurch wird eine Einbuße beim Wirkungsgrad in Kauf genommen, was durch die weiter unten beschriebenen CO/Lambda-Regelung vermieden werden kann (s. Abb. 6).

### Verbrennungstemperatur-Regelung.

Temperatur vermindert. Anders als bei der Lambda-Regelung muss bei der Verbrennungstemperatur-Reg-

CO/Lambda offre la possibilité d'une optimisation supplémentaire de la valeur de consigne Lambda.

Le principe de la régulation CO/Lambda avec optimisation de la valeur consigne est représenté sur la figure 8.

Ainsi, quelque soit les caractéristiques du combustible et la puissance requise, la combustion peut bénéficier d'une valeur de consigne optimale et produire un rendement maximal.

Le développement de cette méthode ainsi que l'expérience acquise sur des installations pilotes sont décrites dans Good [1992] et Nussbaumer et Good [1995].

Aujourd'hui, la régulation CO/Lambda est commercialisée et a fait ses preuves dans la pratique.

### Régulation de l'épaisseur de la couche de combustible

En complément des régulations mentionnées ci-dessus, les foyers à grille bénéficient aussi de régulations de l'épaisseur du lit de braises. Ce processus consiste à contrôler l'épaisseur de la couche en plusieurs endroits de la grille à l'aide d'un ou de plusieurs capteurs (par exemple des capteurs à infrarouges ou à micro-ondes). La couche de combustible est maintenue à niveau constant

par la régulation de l'alimentation en combustible et le mouvement de certains segments de la grille. On obtient ainsi une répartition plus uniforme de l'air primaire et une séparation plus nette des processus de gazéification et d'oxydation. Dans d'autres méthodes, le lit de braises est contrôlé par un signal qui permet de connaître la limite entre le combustible et les cendres sur la grille. Cette information règle l'alimentation en combustible et le déplacement de la grille de sorte que la limite se trouve le plus près possible de la fin de la grille.

### RÉGULATION DE LA PUISSANCE POUR DES INSTALLATIONS AVEC BALLON TAMPON ET DES INSTALLATIONS À PLUSIEURS CHAUDIÈRES

#### Régulation de la puissance pour des installations à une seule chaudière exploitée avec un ballon tampon.

Un ballon tampon de capacité minimale d'une heure à pleine puissance réduit notablement le nombre de phases de mise en marche et d'arrêt. Les pointes de puissances qui surviennent après les phases de réduction de puissance sont nivelées et la régulation de la puissance dispose de plus de temps pour s'adapter. Un ballon tampon plus grand, d'une capacité de plusieurs heures à pleine

Régulation de la puissance par	Régulation de la combustion	au moyen de
Air comburant	Régulation Lambda	Combustible (figure 3.53)
	Régulation CO/Lambda	Combustible (figure 3.55)
	Régulation de la température de combustion	Combustible (figure 3.54)
	Régulation de la température de combustion et régulation Lambda	Combustible Air secondaire
Air primaire	Régulation de la température de combustion et régulation CO/Lambda	Combustible Air secondaire
	Régulation de la température de combustion et régulation Lambda	Combustible Air secondaire
	Régulation de l'épaisseur de la couche et régulation Lambda	Combustible Air secondaire
	Régulation de l'épaisseur de la couche et régulation CO/Lambda	Combustible Air secondaire
Combustible	Régulation Lambda	Air comburant
	Régulation CO/Lambda	Air comburant
	Régulation de la température de combustion	Air comburant
	Régulation de l'épaisseur de la couche et régulation Lambda	Air primaire Air secondaire
	Régulation de l'épaisseur de la couche et régulation CO/Lambda	Air primaire Air secondaire

Tableau 2 : Combinaison de la régulation de la puissance et de la régulation de la combustion.

▷ gelung berücksichtigt werden, dass der Teillastbetrieb und das Anfahren bei kalter oder warmer Feuerung das Temperaturniveau beeinflusst.

kommerziellen Einsatz und hat sich im praktischen Betrieb bewährt [Leiser 1998].  
**Schichthöhenregelung.**  
 Als Ergänzung zu den er-

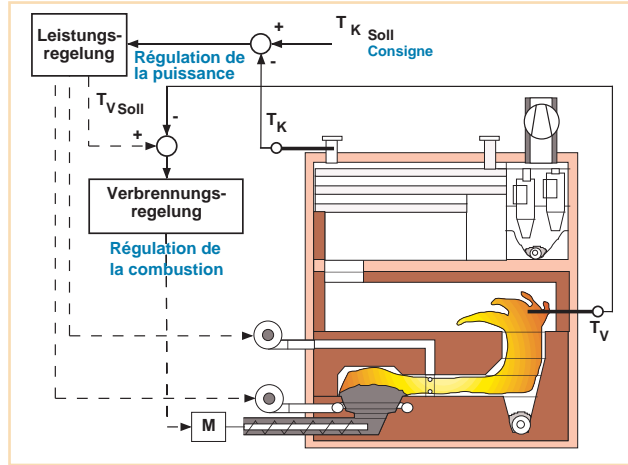


Abbildung 7: Funktionsprinzip der Verbrennungstemperatur-Regelung: Messung der Verbrennungstemperatur und Regelung der Brennstoffmenge, Vorgabe der Verbrennungsluftmenge durch Leistungsregelung.

Figure 7 : Principe de fonctionnement de la régulation de la température de combustion : mesure de la température de combustion et régulation de la quantité de combustible, avec quantité d'air comburant fixée par la régulation de la puissance.

sen. Deshalb muss der Sollwert der Verbrennungstemperatur in Abhängigkeit der Leistung vorgegeben werden und das Anfahren bei kalter Feuerung sollte gesteuert ablaufen, bis die Verbrennungstemperatur ein gewisses Niveau erreicht hat (s. Abb. 7).

**CO/Lambda-Regelung.**

Bei der CO/Lambda-Regelung werden der Luftüberschuss und der Kohlenmonoxidgehalt zum Beispiel mittels Lambda-Sonde und CO-Sonde gemessen. Gegenüber der Lambda-Regelung ist damit eine zusätzliche Optimierung des Lambda-Sollwertes möglich. Das Prinzip der CO/Lambda-Regelung mit Sollwertoptimierung ist in Abbildung 8 dargestellt. Damit kann die Verbrennung für beliebige Brennstoffeigenschaften und bei beliebiger Leistung beim optimalen Sollwert und dadurch bei höchstmöglichem Wirkungsgrad erfolgen. Die Entwicklung dieses Verfahrens und Erfahrungen mit ersten Versuchsanlagen sind beschrieben in Good [1992] und Nusbaumer und Good [1995]. In der Zwischenzeit ist die CO/Lambda-Regelung im

wählten Leistungs- und Verbrennungsregelungen wird bei Rostfeuerungen auch die Schichthöhenregelung eingesetzt. Dabei wird mit einem oder mehreren Sensoren (z.B. auf Infrarot- oder Mikrowellen-Basis) die Höhe des Glutbetts an verschiedenen Orten des Rostes erfasst. Durch Regelung der Brennstoffzufuhr und Bewegung einzelner Rostsegmente wird das Brennstoffbett auf ein konstantes Niveau geregelt. Dies ermöglicht eine gleichmäßigere Verteilung der Primärluft und eine bessere Trennung der Vergasungs- und Oxidationsprozesse. In anderen Verfahren wird das Glutbett optisch erfasst und die Grenzlinie zwischen Brennbarem und Asche auf dem Rost aus dem erfassten Signal bestimmt. Mit dieser Information werden die Brennstoffzufuhr und die Bewegung der Rostsegmente so geregelt, dass sich die Grenzlinie möglichst nahe am Rostende befindet.

**LEISTUNGSREGELUNG BEI ANLAGEN MIT SPEICHER UND BEI MEHRKESELANLAGEN**  
**Leistungsregelung bei Einkesselanlagen mit Speicher.**

Ein Wärmespeicher mit einer

▷ *puissance, sert surtout à compenser d'éventuelles pannes de la chaudière. Dans les bâtiments à faible inertie, il facilite le passage rapide d'une puissance à une autre. Les ballons tampons sont responsables de pertes de chaleur supplémentaires qui ont des conséquences sur le rendement annuel de la chaudière.*

*Pour des installations à une chaudière avec ballon tampon, la régulation de la puissance doit tenir compte de l'état de charge du ballon. Cette dernière est mesurée par trois à quatre sondes de température au moins, réparties sur la hauteur du ballon. L'objectif est d'atteindre des durées de fonctionnement de l'installation les plus longues possibles. Un tel résultat suppose de réduire la puissance de l'installation lorsque l'état de charge du ballon tampon augmente, et inversement. On peut utiliser comme variante une régulation grossière de la puissance de l'installation en fonction de la température extérieure, tandis qu'une régulation plus précise prend en compte l'état de charge du ballon. L'installation doit être exploitée de manière à ce que le ballon tampon soit chargé avant l'arrêt de la chau-*

*dière. La remise en marche de la chaudière n'est possible qu'à une condition : le ballon est presque déchargé, ou il se décharge très rapidement.*

**Régulation de la puissance pour des installations bivalentes.**

*Les installations bivalentes avec une chaudière au fioul ou au gaz destinée à couvrir les pointes de puissance, sont en principe exploitées sans ballon. La régulation de la puissance lance un signal de commande qui allume la chaudière destinée à couvrir les pointes de puissance lorsque la température consigne de départ n'est plus atteinte.*

**Régulation de la puissance pour une installation monovalente à plusieurs chaudières.**

*Les installations monovalentes à plusieurs chaudières servent le plus souvent à alimenter des réseaux de chaleur. Elles sont le plus souvent équipées d'un système de contrôle qui joue le rôle de système subordonné et permet une mise en marche des chaudières l'une après l'autre, en cascade. La température de la première chaudière sert de signal de mise en marche ou d'arrêt de la seconde chaudière.*

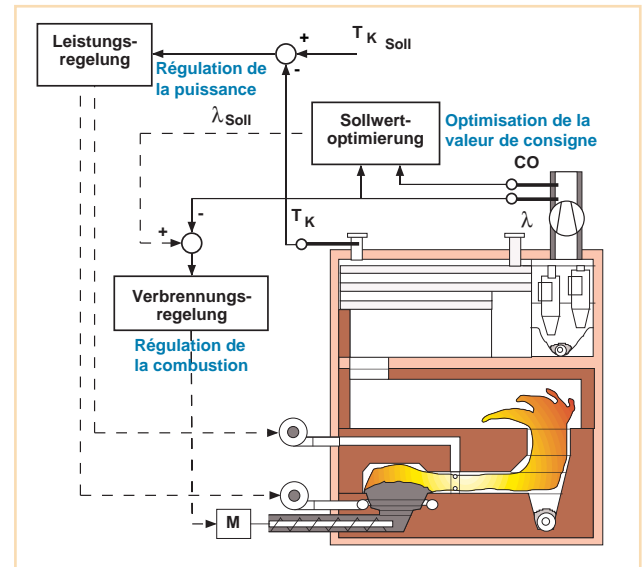


Abbildung 8: Funktionsprinzip der CO/Lambda-Regelung: Messung des Luftüberschusses und des Kohlenmonoxidgehalts z.B. mittels CO-Sonde. Optimierung des Lambda-Sollwertes. Regelung der Brennstoffmenge, Vorgabe der Verbrennungsluftmenge durch Leistungsregelung.

Figure 8 : Principe de fonctionnement de la régulation CO/Lambda : mesure de l'excès d'air et du taux de monoxyde de carbone à l'aide d'une sonde CO par exemple. Optimisation de la valeur de consigne Lambda. Régulation de la quantité de combustible, quantité d'air comburant fixée par la régulation de la puissance

Kapazität von mindestens einer Stunde Vollastbetrieb reduziert die Anzahl Anfahr- und Ausbrandphasen, glättet Lastspitzen nach Absenkeperioden und stellt der Leistungsregelung mehr Zeit für die Leistungsanpassung zur Verfügung. Ein grösserer Speicher mit einer Kapazität von mehreren Stunden Vollastbetrieb dient vorwiegend der Überbrückung allfälliger Störungen an der Feuerungsanlage. Bei Gebäuden mit geringer Speicherkapazität kann er schnelle Laständerungen glätten. Speicher verursachen zusätzliche Wärmeverluste, die sich im Jahreswirkungsgrad auswirken.

Bei Einkesselanlagen mit Speicher muss die Leistungsregelung den Ladezustand des Schichtspeichers berücksichtigen. Dieser wird durch mindestens drei bis vier über der Höhe des Speichers verteilte Temperaturfühler erfasst. Grundsätzlich sind möglichst lange Betriebszeiten der Feuerung erwünscht. Dies wird erreicht, wenn bei steigendem Ladezustand des Speichers die Feuerungsleistung reduziert und bei sinkendem Ladezustand erhöht wird. Als Variante kann die grobe Vorgabe der Feuerungsleistung in Funktion der Aussentemperatur erfolgen, während die Feinregulierung über den Ladezustand des Speichers erfolgt. Dabei ist die Anlage so zu steuern, dass der Speicher vor dem Ausschalten der Feuerung geladen ist. Die Feuerung soll erst wieder eingeschaltet werden, wenn der Speicher nahezu entladen ist oder die Speicharentladung sehr schnell erfolgt.

#### Leistungsregelung bei bivalenten Anlagen.

Bivalente Anlagen mit einem Öl- oder Gaskessel zur Spitzenlastdeckung werden in der Regel ohne Speicher ausgeführt. Die Zuschaltung des Spitzenlastkessels erfolgt über einen Einschaltbefehl von der Leistungsregelung der Holzfeuerung, wenn die Vorlaufolltemperatur nicht mehr erreicht wird.

#### Leistungsregelung bei monovalenten Mehrkesselanlagen.

Monovalente Mehrkesselanlagen werden oft für den Betrieb von Fernwärmenetzen eingesetzt und sind in der Regel mit einem Leitsystem ausgerüstet, welches als übergeordnetes System eine Kaskadenschaltung der Heizkessel erlaubt. Die Kesseltemperatur des ersten Kessels dient als Signal für das Zu- oder Abschalten eines zweiten Kessels. Die Zuschaltung kann manuell durch den Anlagewart oder automatisch durch Heissluftgebläse erfolgen. Bei gleichzeitigem Betrieb von mehreren Kesseln mit unterschiedlicher Nennleistung kann das Leitsystem durch eine aussentemperaturabhängige Leistungsbegrenzung mit einem Kessel die Grundlast decken, während ein zweiter Kessel den Rest abdeckt. Um möglichst lange Betriebszeiten der Holzfeuerungen zu erreichen, sollte das Leitsystem das Verteilnetz als dynamischen Speicher benutzen. Dank der grossen Wassermenge können durch Anheben oder Absenken der Netzwassertemperatur innerhalb eines Bereichs von ca. 70°C bis 90°C Lastspitzen gebrochen und übertemperaturbedingte Abschaltungen der Heizkessel vermindert werden. □

*La mise en marche s'effectue manuellement ou automatiquement par les ventilateurs à air chaud. Si plusieurs chaudières ont des puissances nominales différentes, le système de contrôle peut couvrir les besoins de base avec une seule chaudière grâce à une limite de puissance déterminée par la température extérieure ; la seconde chaudière n'est utilisée que pour le reste des besoins. Afin d'atteindre des durées de*

*fonctionnement maximales, le système de contrôle doit utiliser le système de distribution comme tampon dynamique. Grâce à l'importante quantité d'eau qui circule, en augmentant ou en diminuant la température de l'eau de réseau à l'intérieur d'une plage de 70° à 90°C, il est possible de niveler les pointes de puissance et d'éviter les arrêts des chaudières nécessaires en cas de dépassement de température. □*

#### Anschrift des Autors / coordonnées de l'auteur :

**PD Dr Thomas Nussbaumer, Verenum**

Langmauerstrasse 109, CH-8006 Zürich

Tél. +41 (0)1 364 14 12, Fax. +41 (0)1 364 14 21

E-mail : verenum@access.ch



Heizzentrale mit zwei modernen automatischen Holzfeuerungen, welche mit Verbrennungstemperatur- und Lambda-Regelung ausgerüstet sind. Chaudière équipée de deux chaudières automatiques au bois régulées par contrôle de la température de combustion et sonde lambda.

#### Pour en savoir plus... Weiterführende Literatur :

**Good J.:** *Verbrennungsregelung bei automatischen Holzschnitzfeuerungen*, Diss ETH 9771, Zürich 1992.

**Good J.; Nussbaumer Th.:** CO / Lambda control. *Biomass for energy and industry, 10th European Conference and Technology Exhibition*, June 8 - 11 1998, Würzburg, Germany, 1362 - 1365.

**Nussbaumer Th.; Good J.:** CO / Lambda-Regelung mit Sollwertoptimierung zur Wirkungsgradverbesserung und Schadstoffminderung bei Holzfeuerungen, *Holz-Zentralblatt*, 117, 29. 7 1995, 1878 - 1879.

**Leiser O.:** Einsatz der CO / Lambda-Regelung an automatischen Holzfeuerungen mit Abgasrezirkulation, *5. Holzenergie-Symposium*, 16.10.1998, ETH Zürich, Bundesamt für Energie, Bern 1998, 139 - 156

**Padinger R.; Novy M.; Spitzer J.:** Emissionsminderung durch Verbrennungsregelung, *1. Holzenergie-Symposium*, 25. 10. 1990 ETH Zürich, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, 1990, 31 - 48.