

Effiziente Regeltechnik, der Schlüssel zur emissionsarmen Feuerung

1. Anforderungen

Die Verbrennung von Feststoffen ist im Vergleich zu der Verbrennung von flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen nicht nur mit einem deutlich höheren Aufwand im Hinblick auf Transport und Lagerung der Brennstoffe verbunden, auch die Gestaltung der Feuerung. Die Feuerraumgeometrie sowie die Regelung des Verbrennungsvorgangs, bedürfen einer erheblich höheren Aufmerksamkeit. Insbesondere führt die Verbrennung von Öl oder Gas zu einer kompakten Flamme, die einen sehr kleinen Brennraum erlaubt, der sogar gekühlt sein kann. Bei Biomassefeuerungen ist hingegen ein wesentlich größerer Feuerraum erforderlich, der zudem in verschiedene Zonen (Entgasungs- und Ausbrandzone) mit unterschiedlicher Luftzufuhr (Primär- und Sekundärluft) unterteilt und in der Regel nicht gekühlt sein sollte.

2. Verbrennungsprozess

Die Verbrennung von Biomasse wird allgemein als sehr „schwierig“ eingestuft, denn komplexe Vorgänge und vielfältige Parameter sind zu beachten, die sich zudem gegenseitig beeinflussen können. Zahlreiche Faktoren können die Verbrennung fördern, aber auch verschlechtern und zu unerwünschten, luftverunreinigenden Emissionen führen.

Die Verbrennung von Holz lässt sich grundsätzlich in drei Phasen einteilen:

- Trocknung (endotherm) bis 150 °C
Verdampfung des im Holz gebundenen Wassers
- Entgasung – Pyrolyse (endotherm) von 150 bis 600 °C
Freisetzung der Brenngase und Holzkohle
- Verbrennung – Oxidation (exotherm) von 400 bis 1.300°C
Verbrennung der Brenngase und der Holzkohle zu Asche

Besonderer Aufmerksamkeit - vor allem im Hinblick auf die Effizienz der Feuerung und die Schadstoffemissionen - bedarf die 3. Phase, die Oxidation.

Holz ist ein langflammiger Brennstoff - etwa 70 % der im Holz enthaltenen chemisch gebundenen Energie wird bei der Oxidation der Brenngase freigesetzt. Läuft dieser Vorgang nicht optimal ab, führt dies zu einem schadstoffreichen Abgas und verursacht die Bildung von schwer flüchtigen organischen Stoffen (zB Ruß, Teer).

Einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Verbrennung und den Wirkungsgrad der Anlage hat daher die Regelung der Luftzuführung.

3. Emissionen

Bei der Verbrennung von Holz treten sowohl vermeidbare als auch unvermeidbare Emissionen auf. Unvermeidbar ist die Entstehung von Wasserdampf, Kohlendioxid (CO_2) und Stickoxiden (NO_x) sowie die Freisetzung geringer Mengen Aschepartikel als Staubemissionen. Diese Emissionen können auch bei der optimalen Verbrennung von Biomasse beobachtet werden. Dahingegen ergeben sich die vermeidbaren Emissionen, wie Kohlenwasserstoffe (C_xH_y), Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannte Partikel („Ruß“), als Folge einer unvollständigen Verbrennung.

Durch eine Optimierung der Feuerung können diese Emissionen minimiert werden. Eine wichtige Leitgröße für die Beurteilung der Verbrennungsqualität ist die CO -Konzentration im Abgas.

Schadstoffemissionen bei Biomassefeuerungsanlagen können durch verschiedene Maßnahmen vermieden oder zumindest reduziert werden zum Beispiel durch ausreichende Luftzufuhr, ausreichend hohe Temperaturen in der Oxidationszone der Brenngase, ausreichend gute Durchmischung der Verbrennungsluft mit den Brenngasen, ausreichend lange Verweilzeiten der Brenngase in der Verbrennungszone. Aber auch durch eine Optimierung der Brennstoffeigenschaften (zB geringer Stickstoff- und Chlorgehalt, geringer Wassergehalt, geringe Verunreinigungen) ist unter Umständen eine Möglichkeit der Schadstoffreduzierung gegeben. Grundsätzlich kann zwischen Primär- und Sekundärmaßnahmen unterschieden werden. Zu den Primärmaßnahmen zählen alle Maßnahmen, die vor der Verbrennung den Brennstoff beeinflussen („brennstoffseitige Primärmaßnahmen“) oder die an der Feuerung durchgeführt werden („feuerungsseitige Primärmaßnahmen“).

Die im Anschluss an die Verbrennung durchgeführte Rauchgasreinigung - Entstaubung und Entstickung der Rauchgase - zählt zu den Sekundärmaßnahmen.

4. Rauchgasreinigung

Das Rauchgas einer Biomassefeuerung setzt sich aus der überschüssigen Verbrennungsluft und den Verbrennungsprodukten (zB CO_2 , H_2O , NO_x , Aschepartikel) zusammen. Die Verbrennungsprodukte können in luftverunreinigende und nicht luftverunreinigende Emissionen eingeteilt werden. Die luftverunreinigenden Emissionen von Biomassefeuerungsanlagen dürfen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten, was in den Ländern durch Immissionsschutzverordnungen geregelt ist.

Unter Sekundärmaßnahmen versteht man die der Feuerung nachgeschalteten Abgasreinigungsmaßnahmen. Bei naturbelassenen Biomassefestbrennstoffen beschränken sich die Sekundärmaßnahmen in der Regel auf die Entstaubung der Rauchgase. Die Zugabe von Zusatzstoffen, beispielsweise zur Minderung der NO_x -Konzentration im Rauchgas („Entstickung“ der Rauchgase), wird nur in Einzelfällen praktiziert.

Für die Entstaubung der Rauchgase stehen Fliehkraftabscheider (Einzel- oder Multizyklon), filternde Abscheider (Gewebeschlauchfilter) und elektrostatisch wirkende Abscheider (Elektrofilter) zur Verfügung. Die Abscheider werden im Rauchgasweg nach dem Biomassekessel angeordnet und weisen unterschiedliche Abscheidegrade auf, die zudem von der Partikelgröße des Flugstaubs abhängen. Rauchgasnachbehandlungen, die über die Entstaubung hinausgehen, sind bei der Verbrennung naturbelassener

Biomassebrennstoffe in der Regel nicht nötig um die gesetzlichen Grenzwerte einzuhalten.

5. Mess-, Steuer- und Regeltechnik

Die energetische Verwertung von Biomasse ist ein komplexer Verfahrensablauf, ein sogenanntes Mehrgrößensystem, das nur unter Einsatz einer geeigneten Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR-Technik) optimal betrieben werden kann. Darüber hinaus ist durch die MSR-Technik eine Möglichkeit gegeben, die Investitionen, den Hilfsenergieaufwand sowie den Reparatur- und Personalaufwand zu reduzieren. Gleichzeitig kann sich die Verfügbarkeit der Anlage erhöhen. Bedienungsfehler und damit verbundene Überlastungen der Anlage können vermieden werden, und es ist beispielsweise eine frühzeitige Alarmierung bei einer Verschlechterung des Wirkungsgrades möglich, was zur Ausschöpfung entsprechender Einsparpotenziale beitragen kann. Durch eine kontinuierliche Messung der wesentlichen Emissionen (CO und NO_x) und eine regelungstechnische Rückkopplung ist eine Optimierung des Emissionsverhaltens der Anlage möglich. Darüber hinaus kann die Dokumentation der Messwerte zu einer leichteren Ursachenermittlung bei Betriebsstörungen führen. Bezüglich des Personalaufwandes ist die Möglichkeit einer Fernüberwachung von besonderem Vorteil. Allerdings kann eine moderne MSR-Technik die Anlage auch deutlich verteuern.

Üblicherweise werden Biomassefeuerungsanlagen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen oder Mikrocontrollersystemen ausgestattet. Des Weiteren zählen verschiedene Sensoren und Aktoren, die auf der Prozessebene installiert werden und die die Prozesssignale bereitstellen beziehungsweise verarbeiten, zu der Grundausstattung einer MSR-Technik.

Zu den wichtigsten Regelungsaufgaben bei einem Biomassekessel gehören die Anpassung der Kesselleistung an die Leistungsanforderung (Leistungsregelung zwischen 30 und 100 % der Nennwärmeleistung) und die Optimierung der Verbrennung durch die Anpassung der Verbrennungsluft an den aktuellen Luftbedarf (Verbrennungsregelung mittels Lambdasonde sowie Rauchgasrückführung). Wesentliche Grundlage für eine bestimmungsgemäße Regelung ist allerdings eine zuverlässige Messwerverfassung mittels geeigneter Messwerverfassungselemente. Eine weitere wichtige Aufgabe der MSR-Technik ist die Alarmüberwachung. So müssen Störungsmeldungen dokumentiert und gegebenenfalls automatisch per SMS oder Mail an das Wartungspersonal weitergeleitet werden. Bei erheblichen Störungen muss eine automatische Abschaltung der Anlage durchgeführt werden oder es sind zumindest Teile der Anlage außer Betrieb zu nehmen. Mit modernen Systemen lassen sich darüber hinaus Visualisierungen und eine automatisierte Datendokumentation in Verbindung mit einer Datenauswertung und einer grafischen Präsentation der Ergebnisse durchführen.

- Leistungsregelung

- Kaskadenregelung

Im allgemeinen ist es notwendig die thermische Kesselleistung und die Vorlauftemperatur zu regeln. Das heißt die Kesselleistung soll unabhängig vom Temperaturniveau eingestellt werden können. Dazu muss ein Sollwert für die Kesselrücklauf­temperatur aus der geforderten Kesselleistung und Kessel­Vorlauftemperatur berechnet werden. Der dafür notwendige Kesseldurchfluss kann als Konstante vorgegeben werden oder besser mit einem Durchfluss-Sensor gemessen werden.

Die geforderte Kesselleistung wird mit der aktuellen Leistung verglichen und daraus ein Sollwert für die Abgastemperatur berechnet (Kaskadenregelung). Der Vorteil der zusätzlichen Abgastemperaturregelung liegt darin, dass damit die minimale und maximale Abgastemperatur eingestellt werden kann.

Um einen sicheren und emissionsarmen Betrieb auch bei verschiedenen Brennstoffen zu gewährleisten wird die Feuerungsleistung zusätzlich, falls der Feuerraum-Unterdruck nicht mehr gehalten werden kann, begrenzt (Override-Regelung). Für den Teillastbetrieb ist es notwendig, dass der Sollwert für den Feuerraum-Unterdruck von der Feuerungsleistung abhängig ist.

- Verbrennungsregelung

- Lambdaregelung

Als Lambda (λ) bezeichnet man dabei das Verhältnis Luft zu Brennstoff im Vergleich zu einem stöchiometrischen Gemisch. Beim stöchiometrischen Brennstoffverhältnis ist genau die Luftmenge vorhanden, die benötigt wird, um den Brennstoff vollständig zu verbrennen. Dies wird als $\lambda=1$ bezeichnet.

Um somit wechselnde Leistungen, Verbrennungszustände und sich ändernde Brennstoffqualitäten bei unterschiedlicher Feuchte optimal zu erfassen und zu regeln und um die Emissionen minimal zu halten, ist ein Messfühler nötig, der die entsprechenden Werte der Feuerungsregelung übermittelt. Häufig wird dafür eine beheizte Zirkoniumdioxid-Meßsonde (staubunempfindlich) eingesetzt, welche den O_2 -Gehalt im Abgas erfasst und ein direkt proportionales Strom-Ausgangssignal erzeugt. Im mikroprozessorgesteuerten Analysen- und Regelgerät wird der Meßwert mit dem eingegebenen, lastabhängigen Sollwert verglichen. Weichen O_2 -Istwert und –Sollwert stärker voneinander ab, wird ein Regelsignal an die Verbundsteuerung gegeben und das Brennstoff-Luft-Verhältnis also die zugeführte Brennstoff-beziehungsweise Sekundärluftmenge korrigiert. Die Luftmengen können drehzahl­geregelt oder mit Klappenstellmotore variiert werden, die Brennstoffmengen durch Variation der Taktzeiten der Beschickungseinrichtung.

Die Anpassung des Verhältnisses zwischen Primärluft und Brennstoffmenge ist bei sehr stark schwankenden Brennstoffen erforderlich. Nur so ist bei allen Brennstoffen (Holzart, Wassergehalt, Grösse...) eine optimale Verbrennung möglich.

- **Feuerraumtemperaturregelung - Rauchgasrezirkulation**

Die Ausgangsgröße der Kesselleistungs- bzw. Abgastemperaturregelung (Feuerungsleistung) steuert zunächst die Primärluftmenge und die Brennstoffmenge. Für einen hohen Wirkungsgrad (vor allem bei sehr trockenen Brennstoffen) und einer optimalen Verbrennung ist eine Rauchgasrückführung sinnvoll. Mit Hilfe der Rauchgasrückführung kann die Feuerraumtemperatur und der Restsauerstoffgehalt getrennt geregelt werden. Der Feuerraumtemperaturregler bestimmt das Verhältnis zwischen sauerstoffreicher Primärluft und sauerstoffarmen abgekühlten Rauchgas. Über ein Kennlinienfeld, mit dem auch die von der Feuerungsleistung vorgegebene Gesamtluft berücksichtigt wird, werden die Stellungen für die Klappen der Primärluft und der Rauchgasrückführung berechnet.

Reicht allerdings die Rauchgasrückführung nicht aus um die Feuerraumtemperatur zu begrenzen, wird zusätzlich mit Hilfe der Sekundärluft gekühlt (Override-Regelung). Durch das Rückführen von Rauchgas aus dem Wärmetauscher in die Verbrennungszone wird zum einen der Anteil an Sauerstoff gesenkt, zum anderen sinkt die Verbrennungstemperatur. Die Verbrennungstemperatur ist unter anderem abhängig vom Heizwert des Brennstoffes. Brennstoff und Verbrennungsluft bilden zusammen ein brennbares Gemisch mit einem charakteristischen Heizwert. Mischt man dem Brennstoff-Oxidator-Gemisch Rauchgas zu, verringert sich der Heizwert des Gesamtgemisches und damit die erreichbare Verbrennungstemperatur.

Somit wird diese Rezirkulation zur Vermeidung von thermischen Überbelastungen der schamottierten Flächen, zur Verringerung von Schlackebildungen im Feuerraum und zur Sauerstoffregelung eingesetzt.

Zum Einsatz kommt das System der Rauchgasrückführung bei Brennstoffen mit hohem Heizwert, niedrigen Ascheschmelzpunkten und bei hohem Stickstoffgehalt im Brennstoff.

- **Unterdruckregelung**

Automatische Steuerung beziehungsweise Regelung des Unterdruckes im Feuerraum während der gesamten Abbrandphase. Der erforderliche Unterdruck ist auf der Bedieneinheit des Regelgerätes einstellbar und greift auf die Drehzahlregelung des Abgasgebläses ein und hat einen Quereinfluss auf die Kesselleistung.

Zusammenfassend lässt sich aber festhalten, dass gute Verbrennungs- und Abgaswerte nur bei einem gut aufeinander abgestimmten Gesamtsystem – Kesseltechnik und Regelungstechnik - erreicht werden können.

Die beste Regelungstechnik kann ein „schlechtes“ Kesselkonzept und ein optimales Kesselkonzept ein veraltetes Steuerungssystem nicht kompensieren.

