

Entwicklung einer Low-Dust Biomasse-Kleinfeuerung unter Ausnutzung von Primärmaßnahmen

Development of a low-dust small-scale biomass boiler based on primary measures

Prof. Dr. Ingwald Obernberger¹, Dipl.-Ing. Dr. Thomas Brunner², Dipl.-Ing. Dr. Friedrich Biedermann², Dr. Werner Klausmann³, Dr. Stefan Hoffmann³

¹Referent: BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Inffeldgasse 21b, A-8010 Graz, Austria; Institut für Prozess- und Partikeltechnik, Technische Universität Graz Inffeldgasse 21a, A-8010 Graz, Österreich, Tel.: +43 (0)316 481300 12, E-mail: obernberger@bios-bioenergy.at; Internet: www.bios-bioenergy.at;

²Ko-Autoren; BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Inffeldgasse 21b, A-8010 Graz, Österreich, Tel.: +43 (0)316 481300-13 und -75, E-mails: brunner@bios-bioenergy.at; biedermann@bios-bioenergy.at; Internet: www.bios-bioenergy.at

³Ko-Autoren; VISSMANN Werke GmbH & Co KG, Viessmannstrasse 1, D-35107 Allendorf (Eder), Deutschland; Tel.: +49 (0)6452 702866, E-mail: drkl@viessmann.com; Internet: www.viessmann.com

Zusammenfassung

Moderne Pellets-Kleinfeuerungsanlagen zeichnen sich durch Bedienungsfreundlichkeit, hohe Verfügbarkeit, hohe Wirkungsgrade sowie vergleichsweise niedrige CO- und org.C-Emissionen aus. Hinsichtlich der Staubemissionen, speziell der Feinstaubemissionen (PM₁₀ Emissionen – Emissionen an Partikeln <10 µm), besteht aber nach wie vor technologischer Aufholbedarf, da diese Emissionen deutlich über denen moderner Gas- und Ölkessel liegen. Mit der Einführung der EU-Richtlinie 1999/30/EG, die unter anderem die Feinstaubkonzentrationen in der Umgebungsluft limitiert, musste festgestellt werden, dass in vielen europäischen Regionen der Grenzwert von 50 µg/m³ an mehr als den erlaubten 35 Tagen pro Jahr überschritten wird. Als Hauptquellen für diese Feinstaubbelastung wurden der Verkehr, die Industrie, die Landwirtschaft sowie der Hausbrand identifiziert, wobei gerade beim Hausbrand die Holzverbrennung für einen Großteil der Staubemissionen verantwortlich zeichnet. Vergleicht man einzelne Holzfeuerungstechnologien miteinander, so weisen vor allem manuell beschickte und nicht automatisch geregelte Feuerungen wie zum Beispiel Kaminöfen oder alte Stückholzkessel sehr hohe Feinstaubemissionen auf, während moderne automatisch beschickte und geregelte Biomasse-Kleinfeuerungen, wie zum Beispiel auch Pelletsfeuerungen, deutlich geringe Partikelemissionen zeigen [1, 2].

Staubemissionen aus Biomassefeuerungen können prinzipiell in Grob- (> 1 µm) und Feinstäube (< 1 µm) unterteilt werden. Grobe Flugaschen (Grobstaub) resultieren aus Brennstoff-, Holzkohlen- und Aschenpartikeln, die vom Brennstoffbett aufgewirbelt und mit

dem Rauchgas ausgetragen werden. Ein Großteil dieser Flugaschen wird bereits im Feuerraum und im Kessel wieder abgeschieden, während die verbleibende Partikelfracht emittiert wird. Die Korngröße dieser groben Flugaschenemissionen liegt zwischen wenigen μm und etwa $200 \mu\text{m}$. Bei der Verbrennung von Pellets tragen grobe Flugaschen üblicherweise mit weniger als 10% zur Gesamtstaubemission bei. Die zweite Staubfraktion, die bei der Verbrennung von Biomasse gebildet wird, sind Feinstäube, so genannte Aerosole. Sie können grundsätzlich in anorganische Aerosole und Aerosole aus organischen Verbindungen und Russ unterteilt werden. Anorganische Aerosole werden von leicht flüchtigen Aschebildnern gebildet, die aus dem Brennstoffbett in die Gasphase freigesetzt werden, dort chemische Reaktionen eingehen und nachfolgend durch Nukleation und Kondensation wieder in die feste Phase übergeführt werden. Bei der Verbrennung von Pellets sind die diesbezüglich wichtigsten Elemente K, S und Cl. Nicht anorganische Aerosole hingegen sind ein Resultat unvollständigen Gasphasenausbrands, und bestehen aus Russpartikeln sowie kondensierten unverbrannten Kohlenwasserstoffverbindungen. Bei modernen Pelletfeuerungen bestehen die Aerosolemissionen im stationären Nennlastbetrieb in der Regel auf Grund des sehr guten Ausbrandes zu mehr als 90% aus anorganischen Aerosolen (hauptsächlich K_2SO_4 , KCl und K_2CO_3). Im Teillastbetrieb steigt der Anteil von organischen Aerosolen und Russ auf ca. 30 Gew% an [3]. Die höchsten Konzentrationen dieser Aerosolfraktion treten während des Anfahrbetriebes sowie während Lastwechselphasen auf.

Im Rahmen des präsentierten Projektes, das von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert wird, wird eine Low-Dust Feuerung mit einer Nennwärmeleistung von 10 bis 25 kW für Weichholzpellets in einer Kooperation der VIESSMANN Werke GmbH & Co KG, Deutschland, und dem wissenschaftlichen Partner BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Österreich, entwickelt. Das Kernziel des Projektes ist es, eine effiziente Reduktion der Gesamtstaubemissionen, speziell der Feinstaubemissionen, durch die Anwendung von Primärmaßnahmen zu erzielen. Dabei sollen durch ein neuartiges Feuerungskonzept sowie verbesserte Luftführung und Luftstufung die im Folgenden geschilderten Effekte erzielt werden.

Durch ein geeignetes Design von Rost- und Primärverbrennungszone sollen das Aufwirbeln und Mitreißen von Brennstoff-, Holzkohlen- und Aschenpartikeln vom Brennstoffbett auf ein Minimum reduziert, und somit die Emissionen an groben Flugaschen weitgehend vermieden werden.

Wie aus der oben angeführten kurzen Beschreibung der Aerosolbildung ersichtlich ist, können die Emissionen an organischen Aerosolen und Russ durch einen entsprechend optimierten Ausbrand effizient reduziert werden. Daher soll ein neues Konzept der Sekundärverbrennungszone und der Sekundärluftzufuhr für einen optimierten Gasphasenausbrand sorgen (hohe Verbrennungstemperatur und intensive Durchmischung von Rauchgasen und Verbrennungsluft). Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass diese optimierten Ausbrandbedingungen nicht nur bei Nennlast, sondern auch im Teillastbetrieb sowie während instationärer Betriebsphasen (Lastwechselbetrieb) eingehalten werden sollen. Dazu sind nicht nur die Entwicklung entsprechender Feuerungsgeometrien, Luftstufungs- und Lufterdüsungskonzepte notwendig, sondern auch ein verbessertes Regelungskonzept, das während aller Betriebsphase dazu beiträgt, dass optimale Rahmenbedingungen für einen annähernd vollständigen Ausbrand eingehalten werden.

Durch die fast vollständige Vermeidung von groben Flugaschenemissionen sowie die Verbesserung des Gasphasenausbrands sind Gesamtstaubemissionen von ca. 10 mg/Nm³ (bezogen auf trockenes Rauchgas und 13 Vol% O₂) erzielbar. Um die Partikelemissionen noch weiter absenken zu können, muss die Freisetzung von anorganischen Aerosolbildnern aus dem Brennstoff in die Gasphase beeinflusst werden. In der neuen Low-Dust-Feuerung ist vorgesehen, durch extreme Luftstufung und geeignete Kontrolle der Brennstoffbetttemperatur, die Freisetzung leicht flüchtiger Alkalimetalle (hauptsächlich K) und damit die Bildung anorganischer Aerosole zu minimieren.

Bei der Entwicklung der neuen Feuerungstechnologie wird neben experimenteller Forschung und Entwicklung an Prototypen verstärkt auf die Unterstützung durch CFD-Simulationen zurückgegriffen (CFD = Computational Fluid Dynamics = numerische Strömungssimulation). Durch die Anwendung von CFD-Simulationen im frühen Entwicklungsstadium ist es dabei möglich, schneller und zielgerichteter erste Prototypen zu entwickeln. Bei der weiteren Optimierung dieser Prototypen kann durch den Einsatz von CFD der Aufwand für Testläufe und Umbauten deutlich reduziert werden, da durch die Simulation unterschiedlicher Anlagenvarianten und Betriebsfälle unvorteilhafte Konfigurationen schnell erkannt und von vornherein aus dem Entwicklungsprozess ausgeschlossen werden können.

An der Errichtung eines ersten Prototypen der neuen Low-Dust-Feuerungstechnologie für Weichholzpellets wird derzeit gearbeitet.

Summary

Present state-of-the-art small-scale pellet combustion systems are characterised by high user friendliness, high availabilities, high efficiencies as well as comparably low CO and OGC emissions. However, concerning particulate matter, especially fine particulate emissions (PM₁₀ – emissions of particulate matter with a diameter < 10 µm) technological development is still needed, since these emissions are significantly higher than those of modern natural gas and oil fired heating systems. With the introduction of the EU directive 1999/30/EC, which limits among others the PM₁₀ concentrations in the ambient air (limiting value of 50 µg/m³, which can be exceeded on 35 days per year at maximum), it had to be recognised that in many European regions problems with keeping this limiting value exist. Traffic, industry, agriculture as well as domestic heating have been identified as the main sources for PM emissions. Regarding the domestic heating sector, wood combustion is the main emission source. When comparing different residential wood combustion technologies, manually fed as well as not automatically controlled systems such as stoves or old logwood boilers show high PM emissions, while the PM emissions of modern automatically fed and automatically controlled systems, such as pellet boilers, are significantly lower [1, 2].

Particulate matter (PM) can generally be categorised in coarse mode particles (>1 µm) and fine mode (<1 µm) particles. Coarse fly ashes result from the entrainment of fuel, char and ash particles from the fuel bed with the flue gas. The major share of these fly ash particles is precipitated in the furnace and the boiler, while the remaining part leaves the boiler as coarse fly ash emission. The particle size of these coarse fly ashes usually ranges between some µm and about 200 µm. During pellet combustion their contribution

to the total dust emissions usually is below 10%. The second fraction of particulate emissions, which is formed during biomass combustion, are fine particulate emissions or so-called aerosols. Aerosols are generally divided in inorganic aerosols as well as organic particles and soot particles. Inorganic aerosols are formed from easily volatile ash forming elements, which are released from the fuel to the gas phase during combustion. There they undergo chemical reactions and subsequently gas to particle conversion takes place by nucleation and condensation processes. During pellet combustion K, S and Cl are the most relevant elements engaged in these processes. Non inorganic aerosols on the other side are a result of an incomplete gas phase burnout and consist of condensed unburned organic compounds as well as soot particles. In modern automatic pellet boilers at stable full load operation 90% of the aerosol emissions are inorganic aerosols (mainly K_2SO_4 , KCl and K_2CO_3) which is due to the good burnout conditions. During partial load operation the amount of organic aerosols and soot particles on the particulate emissions increases to about 30% [3]. The highest emissions of aerosols occur during transient operation phases (start-up, load changes).

Within the project presented, which is funded by the Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), a Low-Dust furnace for softwood pellets with a nominal heat output of 10 to 25 kW is developed in cooperation of VISSMANN Werke GmbH & Co KG, Germany and the scientific partner BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Austria. The main aim of the project is to efficiently reduce PM emissions, especially fine PM emissions, by applying primary measures. Therefore, a novel combustion concept as well as improved combustion air distribution and air staging strategies shall be applied in order to reach the effects discussed in the following.

The entrainment of fuel, char and coarse fly ash particles from the fuel bed should be minimised by applying an appropriate grate and geometry of the primary combustion zone. Thereby, the emissions of coarse fly ashes should be almost impeded.

As it can be derived from the brief description regarding aerosol formation given, emissions of organic aerosols and soot can be efficiently reduced by improving the gas phase burnout. Therefore, a new concept concerning the geometry of the secondary combustion chamber as well as the injection of secondary combustion air should be applied in order to reach almost complete burnout (by optimised mixing of the flue gases with the combustion air and sufficiently high combustion temperatures). In this respect it is of importance, that optimised burnout conditions are not only achieved during full load operation but also during partial load as well as transient operation phases (load changes). Therefore, besides the development of advanced furnace geometries, air distribution and air injection concepts also the implementation of an advanced control system, which provides optimised burnout conditions during all operation phases, is needed.

Based on an improved gas phase burnout and the avoidance of coarse fly ash emission, particulate emissions of about 10 mg/Nm^3 (related to dry flue gas and 13 vol% O_2) can be achieved. To further decrease PM emissions, the release of inorganic aerosol forming compounds from the fuel to the gas phase must be influenced. Within the new Low-Dust combustion concept it is foreseen to apply extremely staged combustion and an appropriate control of the fuel bed temperature in order to reduce the release of easily

volatile alkaline metals (mainly K) and therefore, to reduce the formation of inorganic aerosols.

During the development of the combustion technology experimental R&D is strongly supported by CFD simulations (CFD - computational fluid dynamics). By the application of CFD during the early development process quicker and more target oriented prototype development is possible. During the optimisation of these prototypes, CFD can help to reduce the number of test runs and reconstructions significantly since the simulation of different geometry options as well as operation cases helps to identify disadvantageous configurations in advance which are then excluded from the further development process.

Presently a first prototype of the new Low-Dust combustion technology for softwood pellets is under construction.

Literatur / References

1. OBERNBERGER I., BRUNNER T., BÄRNTHALER G., 2007: Fine particulate emissions from modern Austrian small-scale biomass combustion plants. In: Proc. of the 15th European Biomass Conference & Exhibition, May 2007, Berlin, Germany, ISBN 978-88-89407-59-X, ISBN 3-936338-21-3, pp. 1546-1557, ETA-Renewable Energies (Ed.), Florence, Italy
2. BRUNNER T., OBERNBERGER I., SCHARLER R., 2009: Primary measures for low-emission residential wood combustion – comparison of old with optimised modern systems. In: Proc. of the 17th European Biomass Conference & Exhibition, June/July 2009, Hamburg, ETA-Renewable Energies (Ed.), Italy (in print)
3. BRUNNER T., BÄRNTHALER G., OBERNBERGER I., 2006: Fine particulate emissions from state-of-the-art small-scale Austrian pellet furnaces – characterisation, formation and possibilities of reduction. In: Proc. of the 2nd World Conference on Pellets, May/June 2006, Jönköping, Sweden, ISBN 91-631-8961-5, pp. 115-119, Swedish Bioenergy Association (Ed)