

Paul Roßmann, Hans Hartmann und Peter Turowski

# Jahresnormnutzungsgrad und Emissionsfaktoren bei Holzfeuerungen

Ein Verfahren zur Messung des Jahresnormnutzungsgrades und der Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen wurde entwickelt und auf dem Prüfstand getestet. Es basiert auf einem definierten Lastzyklus-Betrieb über 8 Stunden bei gleichzeitiger Messung von Heizleistung, Schadstoffemissionen (CO, NO<sub>x</sub>, OGC, SO<sub>2</sub>, Gesamtstaub) und Rauchgasvolumenstrom. Erste Tests zeigen: Zwischen der Soll-Kesselleistung und der gemessenen Kesselleistung kann eine hohe Übereinstimmung erreicht werden, aber der Lastzyklus-Betrieb führt zu etwa 10 Prozentpunkte geringeren Wirkungsgraden und höheren Schadstoffemissionen. Die entwickelte Methode erlaubt eine selektive und genauere Bewertung von Biomasse-Heizkesseln. Endnutzern stehen damit Leistungsdaten zur Verfügung, die es erlauben, die Anpassungsfähigkeit des Kessels auf praxisübliche variable Belastungen zu beurteilen. Dadurch wird ein Wettbewerb um höchste Brennstoffausnutzung und geringste Emissionen begünstigt. Allerdings ist eine Validierung der Methode in der Praxis durch vergleichende Feldmessungen erforderlich.

## Schlüsselwörter

Jahresnormnutzungsgrad, Emissionsfaktoren, Holzfeuerung, Lastzyklus, Staubemission

## Keywords

Annual efficiency, emission factors, wood boiler, load cycle, particle emission

## Abstract

Roßmann, Paul; Hartmann, Hans and Turowski, Peter

measurements. Tests show that a high conformity of nominal and actual load can be achieved. As frequently observed in practise, the load cycle operation leads to about 10 % lower efficiencies and to higher pollutant emissions. The developed method allows a selective and more detailed assessment of biomass boilers. End-users are provided performance data which allow to evaluate the boiler's capability to adapt to variable loads as prevailing in practice. Thus competition for highest fuel utilization and lowest emissions are enabled. However, validation in practice through comparative field measurements is still required.

## Annual efficiency and pollutant emission factors of wood boilers

Landtechnik 66 (2011), no. 3, pp 213–215, 2 figures, 1 table, 1 reference

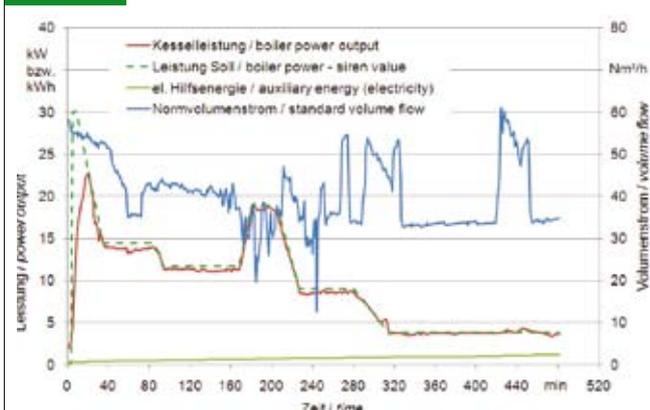
A method for test stand based measurements of annual efficiency and emission factors was developed and tested. It is based on a defined 8-h load cycle operation where heat output and pollutant emissions (CO, NO<sub>x</sub>, OGC, SO<sub>2</sub> and total dust) are monitored during continuous flue-gas volume flow

■ Zur Bestimmung des Jahresnormnutzungsgrades und der Emissionsfaktoren von kleinen Biomasse-Feuerungsanlagen auf dem Versuchsstand wurden ein repräsentativer Norm-Lastmesszyklus und ein geeignetes Messverfahren entwickelt [1]. Dies geschah in Zusammenarbeit mit der BIOENERGY 2020+ GmbH, der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Francisco Josephinum (FJ BLT), Wieselburg, und der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Kärnten/Salzburg.

Um im Lastverlauf die Phasen mit geringen Abgasvolumenströmen entsprechend ihrer jeweiligen Abgasbildung zu bewerten, ist eine direkte Messung der Volumenströme erforderlich. Dazu wurden verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Ab-

gasvolumenstromes untersucht und mittels Fehleranalyse auf ihre Eignung überprüft. Die ausgewählten Verfahren wurden daraufhin für die vorgesehenen Zwecke angepasst. Durch die nunmehr mögliche volumenstrombezogene Gewichtung der Emissionen in den variablen Phasen eines 8-stündigen Messzyklus (z. B. getakteter Ein/Aus-Betrieb bei Teillast) lassen sich die Emissionsfrachten als Summe eines typischen Heizverlaufs bestimmen (**Abbildung 1**).

Abb. 1



Kesselleistung, Sollleistung entsprechend dem Jahresreferenzlastzyklus, Hilfsenergie (elektrische Arbeit) und Normvolumenstrom bei einem Hackschnitzelkessel

Fig. 1: Heat power output, nominal power according to the load profile, electrical energy demand and standard volume flow of a wood chip boiler

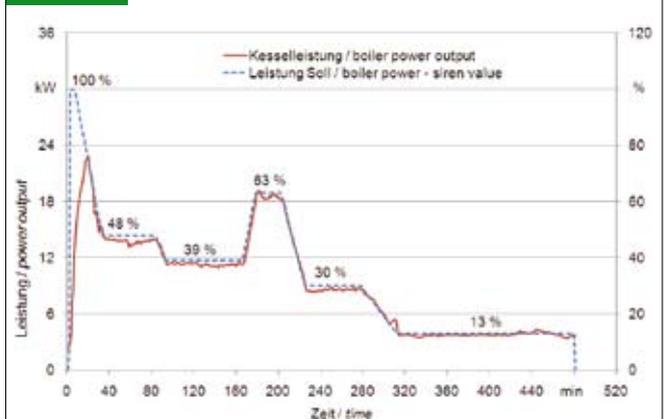
Zudem müssen die Staubemissionen im kontinuierlichen Betrieb über den Lastzyklus gemessen werden. Es wurde eine automatisierte isokinetische Staubabsaugung entwickelt, mit der durch mehrere sequenzielle gravimetrische Staubmessungen die mehrstündige zyklusbezogene Gesamtstaubfracht lückenlos erfasst werden kann. Auch die Auswertung wurde aufgrund der ständigen Variation des Abgasvolumenstromes im Verlauf des Lastzyklus gegenüber den sonst üblichen Messungen bei konstanter Leistung angepasst.

Das am Versuchsstand vorhandene geschlossene Wärmeabnahmesystem wurde als programmierbares geregeltes System mit zeitvariablen Sollwertvorgaben weiterentwickelt, wobei die abgenommene Wärmemenge ausschließlich durch Variation der Rücklauftemperatur verändert wird. So konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Soll- und Ist-Leistung erreicht werden (**Abbildung 2**).

### Lastzyklusmethode

Gemäß der ausgearbeiteten neuen Prüfmethode wird der Normnutzungsgrad durch zwei Messungen bestimmt: Zum einen wird hierzu der entwickelte 8-stündige Normlastzyklus verwendet, der die Lastphasen eines Jahres einschließlich der Brauchwassererwärmung repräsentativ in stark verkürzter Form abbildet. Zum anderen ist zusätzlich eine 8-stündige Vollastmessung einschließlich der Anheiz- und Abkühlphase erforderlich. Diese Vollastmessung läuft wie eine konventionelle Typenprüfungs-

Abb. 2



Jahresreferenzlastzyklus und Kesselleistung bei einem Hackschnitzelkessel mit Sollwert-Prozentangabe der Laststufen

Fig. 2: Annual load cycle profile and realized heat power output with a wood chip boiler

messung nach DIN EN 303-5 ab, sie unterscheidet sich lediglich in den zusätzlichen Auswertezwischenräumen. Aus den beiden Messungen wird der System-Jahresnormnutzungsgrad errechnet, wobei auch die Verluste eines Pufferspeichers berücksichtigt werden können. Sie sind von dessen Volumen abhängig. Ein entsprechender Methodenleitfaden sowie eine Auswertesoftware wurden mit den Projektpartnern erarbeitet und verfügbar gemacht. Dadurch wird nun die Methodenanwendung auch Dritten ermöglicht.

### Ergebnisse der Versuchsstandsmessungen

Zur Entwicklung und Erprobung der Methode (Leitfaden) und der Auswertesoftware wurden am TFZ Versuche mit zwei automatisch beschickten Biomasse-Kleinfeuerungen durchgeführt, ein Pelletkessel (Anlage A) und eine Hackschnitzelfeuerung (Anlage B). Die Pelletanlage hatte eine Nennleistung von 27 kW und die Hackgutanlage eine Nennleistung von 30 kW. Die Ergebnisse zeigen, dass die Jahresnormemissionsfaktoren von Kohlenmonoxid und flüchtigem organisch gebundenem Kohlenstoff höher liegen als bei der Typenprüfung. Anlage B besitzt beispielsweise einen Jahresnormemissionsfaktor für CO von 916 mg/MJ gegenüber 168 mg/MJ bei der Vollastmessung, jener für organisch gebundenen Kohlenstoff liegt bei 54 mg/MJ gegenüber 1,8 mg/MJ (**Tabelle 1**). Die im Abgas enthaltenen Mengen an Stickoxiden weichen erheblich weniger von den Ergebnissen einer Vollastmessung ab.

Im modulierenden Lastzyklus-Betrieb zeigen die Feuerungsanlagen Jahresnormnutzungsgrade ( $\eta_{\text{modulierend}}$ ) von 73,3 % (Anlage B) und 81,0 % (Anlage A). Im Vergleich zu dem im Vollastprüfzyklus (d. h. Auswertung inklusive Anheiz- und Abkühlphase) ermittelten Wirkungsgrad ist der erreichte Jahresnormnutzungsgrad beispielsweise von Anlage B um ca. 9 Prozentpunkte geringer. Aufgrund des mehrfachen Zündens ist im intermittierenden Betrieb bei sehr geringer Last auch der elektrische Hilfsenergiebedarf fast doppelt so hoch wie im Betrieb mit Wärmespeicher (Puffer).

Tab. 1

Ergebnisse aus Typprüfungs- und Messungen nach dem entwickelten Jahresreferenzlastzyklus

Table 1: Results of type testing measurements and measurements following the developed

		Vollastmessung <sup>2)</sup> Full load <sup>2)</sup>		Jahreslastzyklus Annual load cycle		Pufferbetrieb <sup>3)</sup> With water heat storage <sup>3)</sup>	
		Kessel A Combustion unit A	Kessel B Combustion unit B	Kessel A Combustion unit A	Kessel B Combustion unit B	Kessel A Combustion unit A	Kessel B Combustion unit B
Nutzungsgrad Efficiency	% <sup>1)</sup>	-	83	81	73	-	87
El. Hilfsenergie El. auxiliary energy	% <sup>1)</sup>			0,9	1,4	-	0,8
CO	mg/MJ	-	168	274	916	-	779
NO <sub>x</sub>	mg/MJ	-	112	75	128	-	142
Org. geb. Kohlenstoff OGC	mg/MJ	-	1,8	14	54	-	191
Gesamtstaub Dust	mg/MJ	-	33	15	55	-	68

<sup>1)</sup> Angabe bezogen auf Brennstoffenergiezufuhr / Related to fuel energy input.

<sup>2)</sup> 8 h Vollastbetrieb einschließlich Auswertung der Aufheiz- und Abkühlphase / 8 h full load operation and data evaluation including the heating-up and cooling-down phase.

<sup>3)</sup> Aus Ergebnissen der Vollastmessungen und Pufferspeicherdaten berechnet / Calculated from results for full load test and heat storage specifications.

Neben der Wärmemenge des Abgasstromes ist die Wärmeabstrahlung des Kesselkörpers trotz guter Dämmung die bedeutendste Ursache für Wirkungs- bzw. Nutzungsgradverluste. Diese steigen proportional zur Kesseltemperatur stark an, weshalb bei einer Kessel-Typenprüfung der Mittelwert aus Vor- und Rücklauf- und Temperatur des Speisewassers mehr als 40 °C über der Umgebungstemperatur liegen muss, um für alle Kessel vergleichbare Bedingungen zu erreichen. Auf Lastwechsel reagieren die Feuerungsanlagen aber sehr unterschiedlich, was große Auswirkungen auf den Nutzungsgrad hat. Erst im Lastwechselbetrieb wird daher die Anpassungsfähigkeit an wechselnde Wärmeabnahme als qualitatives Unterscheidungsmerkmal erkennbar.

Dennoch ist festzuhalten, dass auch der mit der neuen Methode ermittelte Jahresnormnutzungsgrad den maximal, d. h. bestmöglich, erreichbaren Wert darstellt, wobei eine fachmännische Dimensionierung des Heizungssystems und regelmäßige Wartung unterstellt werden. Beide Bedingungen sind aber im Praxisfall oft nicht erfüllt, was beim Vergleich mit publizierten Ergebnissen aus Feldmessungen berücksichtigt werden muss. Weitere Abweichungen sind möglich durch die Tatsache, dass der Input an elektrischer Energie bei Feldmessungen oft nicht berücksichtigt wird.

### Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass die entwickelte Methode eine selektive und detailreichere Beurteilung von Biomassekesseln unter praxisnahen Bedingungen ermöglicht, ohne dass dabei die Vorteile einer reproduzierbaren Messung am Feuerungsprüfstand aufgegeben werden müssen. Den Kesselherstellern wird ein Werkzeug zur Verfügung gestellt, mit dem die Qualität der Produkte aussagekräftiger dargestellt und die

Entwicklung weiter optimiert werden kann. Endkunden und Betreiber von Feuerungen erhalten mit den Ergebnissen nach dieser Methode wichtige Gütekriterien, was den Wettbewerb um die besten Umwelt- und Effizienzdaten auf eine solidere und realistischere Basis stellt und somit neu beleben könnte. Zur Validierung der Methode müssen aber noch weitere Versuche und vergleichende Feldmessungen durchgeführt werden.

### Literatur

- [1] Schwarz, M. (2010): Leitfaden zur Bestimmung von Jahresnormnutzungsgrad und Emissionsfaktoren am Prüfstand. Bioenergy 2020+, Wieselburg, Österreich, unveröffentlicht

### Autoren

**Dipl. Phys. Paul Roßmann** und **Dipl.-Ing. agr. Peter Turowski** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) in Straubing, **Dr. Hans Hartmann** leitet dort das Sachgebiet „Biogene Festbrennstoffe“.

### Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse kamen im Rahmen einer Projektpartnerschaft mit der BIOENERGY 2020+ GmbH in Wieselburg, der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Francisco Josephinum (FJ BLT) in Wieselburg sowie der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE), Kärnten/Salzburg zustande.

Die Arbeit wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten gefördert.