

Dinh Tung Nguyen und Dieter Steinbrecht

Verbrennung von Raps- extraktionsschrot in einer kleinen, stationären Wirbelschichtfeuerung

Die Schwerpunkte dieses Artikels sind die experimentelle Untersuchung zur Verbrennung von Rapsextraktionsschrot in einer kleinen stationären Wirbelschichtfeuerung (SWSF), die Messung der Abgasemissionen (z. B. O₂, CO, CO₂, NO, NO_x, SO₂) sowie die Untersuchung des Einflusses der Wärmeauskopplung mithilfe einer Wärmeübertragerfläche in der SWSF mit dem Ziel der Entstickung durch eine Absenkung der Sauerstoffkonzentration im Rauchgas. Die experimentellen Ergebnisse zeigen, dass die „reduzierte“ NO_x-Konzentration im Abgas im Betriebspunkt 4 niedriger war als der zulässige Grenzwert der TA-Luft (2002). An diesem Punkt wurde das Maximum der Wärmeauskopplung (99,8 kW) und das Minimum der O_{2tr}-Konzentration (3,9 Vol.-%) ermittelt. Diese Untersuchung stellt einen Modellversuch für das Überangebot von Biomasse-Reststoffquellen in Vietnam dar (Reisschalen, Bagasse, Maniokstiele usw., die ähnliche chemische Zusammensetzungen zu Rapsextraktionsschrot aufweisen).

Schlüsselwörter

Rapsextraktionsschrot, Abgasemissionen, Wärmeübertrager, Heizfläche

Keywords

Extracted rapeseed, exhaust emissions, heat exchanger, heating surface

Abstract

Nguyen, Dinh Tung and Steinbrecht, Dieter

by the combined heat exchanger in FBC was successful. The “reduced” NO_x-concentration of the emissions in operating point 4 was lower than the allowable limit value of German (TA Luft-2002). At this point the maximum of the heat-decoupling from the heat exchanger (99.8 kW) and the minimum of the O_{2tr}-concentration (3.9 Vol.%) were found. This study furthermore represents a small-scale test for the abundant biomass residue resources in Vietnam (rice husk, bagasse and cassava residues etc., which show similar chemical compositions as for extracted rapeseed).

Combustion Process of Extracted Rapeseed by the Small Scale Stationary Fluidized Bed Combustor

Landtechnik 64 (2009), no. 2, pp. 123 - 126, 1 figure, 2 tables, 8 references

The objectives of this paper are the experimental study on combustion of extracted rapeseed in a small scale stationary fluidized bed combustor (SFBC), measurement of exhaust gas component concentrations (e.g. O₂, CO, CO₂, NO, NO_x, and SO₂), investigation of the effect of a bed heat exchanger in the FBC focusing on the reduction of NO_x. The results show that the denitrification of NO_x-emissions in the flue gas

Die Wärme- und Stromerzeugung mit Biomasse ersetzt fossile Brennstoffe, wodurch Treibhausgase verringert und die Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und im Energiesektor erhöht werden können [8]. Vietnam ist reich an landwirtschaftlicher Restbiomasse wie Reisschalen, Reisstroh, Bagasse, Maniokstiele, Kokosnussschalen, Holzabfälle und Kaffeeschalen [1,2,5,8]. Mehr als 50 Millionen Tonnen Biomasse werden jährlich erzeugt, aber nur 30-40% werden für die Energieerzeugung verwendet [3,4,8]. Hauptsächlich wird diese wertvolle Energiequelle in Haushalten zum Kochen [8] oder in Mühlen für die Rohrzuckerproduktion (ca. 150 MW_{th}) verwendet [1,8]. In dem vorliegenden Beitrag wird Rapsextraktionsschrot (Reststoff der Rapsölgewinnung) aus Deutschland untersucht. Seine Eigenschaften sind vergleichbar mit den vietnamesischen Biomassequellen, welche oben beschrieben

Tab. 1

Chemische Zusammensetzung (kg/kg) und Heizwert (kJ/kg) verschiedener Biomassen
 Table 1: Chemical compositions (kg/kg) and the net calorific value (kJ/kg) of various biomasses

	(C)	(H)	(O)	(N)	(S)	(a)	(w)	(Hu)
RE ¹⁾	0,4670	0,0633	0,2177	0,0575	0,0001	0,0693	0,1251	18086
Reisschalen ²⁾	0,3979	0,0523	0,3863	0,0013	-	0,1392	0,0230	15196
Bagasse ²⁾	0,4638	0,0576	0,4519	-	-	0,0074	0,0193	16686
Kokosnußschalen ²⁾	0,4622	0,0520	0,4163	0,0026	-	0,0300	0,0369	17408
Maniokstiele ²⁾	0,4434	0,0576	0,4237	0,0065	-	0,0450	0,0238	15942
Kaffeeschalen ²⁾	0,4488	0,0620	0,3600	0,0096	-	0,0310	0,0887	16217

1) Brennstoff aus Deutschland; 2) Brennstoffe von vietnamesischer Quelle; S = Steht für einen Schwefelanteil unterhalb der Nachweisgrenze

wurden. Das Rapsextraktionsschrot wird in seiner chemischen Zusammensetzung und seinem Heizwert analysiert und seine Verbrennungscharakteristik wird in einer stationären Wirbelschichtfeuerung bewertet. Dabei werden im Besonderen die entstehenden Emissionen und die Möglichkeit der Wärmeauskopplung (für die Energieerzeugung) untersucht.

Material und Methode

Versuchsbrennstoff ist Raps-Extraktionsschrot (RE). Es lässt sich problemlos mit dem Schneckenförderer in den Reaktor fördern. Nach [6] enthält RE viel Brennstoff-Stickstoff (**Tab. 1**). Damit werden möglicherweise hohe NO_x-Emission im Abgas bei der Verbrennung erwartet. Aus [6] folgt: thermisches NO_x entfällt wegen niedriger Wirbelschicht-Temperatur (TWS), Promptes NO_x entfällt wegen der flammenlosen Verbrennungsführung. Aus dem Brennstoff kann NO_x gebildet werden, es wird untersucht, ob die NO_x-Emission mit primären Maßnahmen für die Minderung der Emission beeinflusst werden kann.

Durch den Versuchsbetrieb mit einem Wärmeübertrager im Bett wird aus der Brennkammer Energie entnommen. Der Verbrennungsprozess in der stationären Wirbelschichtfeuerung

(SWSF) wird mit flammenloser SWSF-Verbrennung in Verbindung mit der vorwählbaren maximalen Temperatur TWS betrieben. Hier wurde die TWS über den Versuchszeitraum konstant bei rund 850 °C gehalten. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, bei der gewählten Verbrennungstemperatur ein Schmelzen (Sintern) der Brennstoffasche zu vermeiden.

Alle wichtigen Parameter des Versuchsprozesses während des Tests wurden annähernd konstant gehalten [8]. Alle Betriebspunkte für die Tests wurden in Übereinstimmung mit der praktischen Erfahrung des Lehrstuhls für Umwelttechnik, Universität Rostock-Deutschland gewählt [8].

Ergebnis und Diskussion

Als Versuchsergebnis wurden die chemischen Zusammensetzung und der Heizwert von Energiequellen in **Tab. 1** angegeben. Sie zeigt, dass nahezu alle Brennstoffe außer der Asche ähnlich in der chemischen Zusammensetzung sind. Der Ascheanteil war bei Reisschalen am höchsten. Wahrscheinlich enthalten sie sehr viel mehr anorganische Verbindungen, welche den Verbrennungsprozess, die Zusammensetzung der Abgas-emissionen und den erreichbaren thermischen Wirkungsgrad beeinflussen können.

Tab. 2

Hauptversuchsergebnisse
 Table 2: The main test results

Betriebspunkt			1	2	3	4	5
	Symbol	Einheit	Wert	Wert	Wert	Wert	Wert
Operating parameters							
Brennstoffmassenstrom	m ³ _{Fuel}	kg/h	25,7	25,1	33,1	38,8	17,1
Brennstoffwärmeleistung	Q ² _{Fuel}	kW	128,5	125,6	165,5	193,8	85,3
Feuerungsleistung WS	Q ² _{WSF}	kW	131,2	128,0	167,5	226,3	87,7
Wirbelluftvolumenstrom	V ³ _{WL}	m ³ /B.h	148,5	142,0	140,6	156,7	141,9
Luftversorgung WÜ extern	-	-	Rootsg.	Rootsg.	1 Komp.	2 Komp.	ohne
Luftvolumenstrom WÜ	V ³ _{L,WÜ}	m ³ /N.h	54,2	74,1	179,2	333,6	0,0
Wärmeleistung WÜ	Q ² _{WÜ}	kW	16,1	22,4	54,4	99,8	0,0
Wirkung der Wärmeauskopplung	η	%	12,5	17,8	32,9	51,5	0,0
Emissionen							
O ₂ - Konzentration im trockenen Abgas	O _{2tr}	%	10,2	9,6	5,0	3,9	12,6
Kohlenmonoxid (O ₂ Bezug = 11.0 Vol. %)	CO	mg/m ³ (N)	70	63	31	35	73
Stickoxide (O ₂ Bezug = 11.0 Vol. %)	NO _x	mg/m ³ (N)	334	270	98	61	480
Schwefeldioxid (O ₂ Bezug = 11.0 Vol. %)	SO ₂	mg/m ³ (N)	924	966	1145	1062	776

Die **Abb. 1** zeigt das Gesamtdiagramm des Versuches. Es wurden 5 verschiedene Betriebspunkte (BP) bei etwa konstantem Volumenstrom der Verbrennungsluft durchgeführt. Der Betriebspunkt 5 wurde ohne Wärmeauskopplung durchgeführt. Zur Wärmeauskopplung (BP 1 bis 4) wurde der Wärmeübertrager mit verschiedenen hohen Druckluft-Volumenströmen durchströmt (**Tab. 2**).

Um eine veränderbare Wärmeauskopplung aus der Schicht zu ermöglichen, wird der Wärmeübertrager mit Druckluft durchströmt. Die Wärmeauskopplung wird verändert, indem der Kühlluftdurchsatz verändert wird. Bei vorhandener Wärmeauskopplung wurde die in den Reaktor eingetragene Brennstoffmenge vergrößert, um die gewählte Reaktionstemperatur einzuhalten. Dabei verringerte sich die zur Verbrennung verfügbare Sauerstoffkonzentration im Abgas.

Die Ergebnisse des Versuchs zeigen **Tab. 2** sowie die **Abb. 1**. Die Konzentration der Abgasemissionen werden anhand der Grenzwerte der TA-Luft 2002 (mit der Konzentration von $O_{2tr} = 11$ Vol. %) bewertet (**Abb. 1**).

Abb. 1 zeigt den Zustand während der Verbrennung ohne Wärmeauskopplung bei einer hohen O_{2tr} -Konzentration. Es wurde eine hohe NO_x -Produktion beobachtet.

Tab. 2 zeigt, dass in BP1 bis BP4 durch die Erhöhung des Brennstoff-Massenstromes eine höhere Feuerungsleistung erreicht wurde. Während BP1 bis BP4 fand ein Zuwachs an Kühlluft-Durchsatz im Wärmeübertrager statt. Die niedrigsten Feuerungsleistungen waren bei dem BP5 gewesen. Bei den gewählten Betriebspunkten wurde eine Wärmeleistung in einem Bereich von 0 kW (BP5) bis 99,8 kW (BP4) (**Tab. 2**) ausgekoppelt. Die Wärmeleistung erreichte den höchsten Wert in BP4 (mit O_{2tr} -Konzentration = 3,9 Vol.%).

Die **Abb. 1** und **Tab. 2** zeigen: wenn eine hohe Wärmeauskopplung erreicht ist, wird dies zu niedrigeren O_{2tr} -Konzentration im Abgas führen. Damit steht für die NO_x -Produktion wesentlich weniger Sauerstoff zur Verfügung und erklärt die niedrige NO_x -Konzentration im Abgas (BP4).

Die Konzentration von O_{2tr} sank von 10,2 Vol.% (in BP1) auf 3,9 Vol.% (BP4), während sich die Kühlluftmenge bei dem Eintritt des Wärmeübertrager in die SWSF von BP1 zu BP4 erhöhte (**Tab. 2**).

Abb. 1 und **Tab. 2** zeigen die Wirkung einer Absenkung der O_{2tr} -Konzentration im Abgas durch die Wärmeleistungsauskopplung auf die NO_x -Konzentration. Bei der geringsten Sauerstoffkonzentration (höchsten Wärmeauskopplung)

wurden die niedrigsten O_{2tr} -Konzentrationen im Abgas gemessen (zum Beispiel BP4).

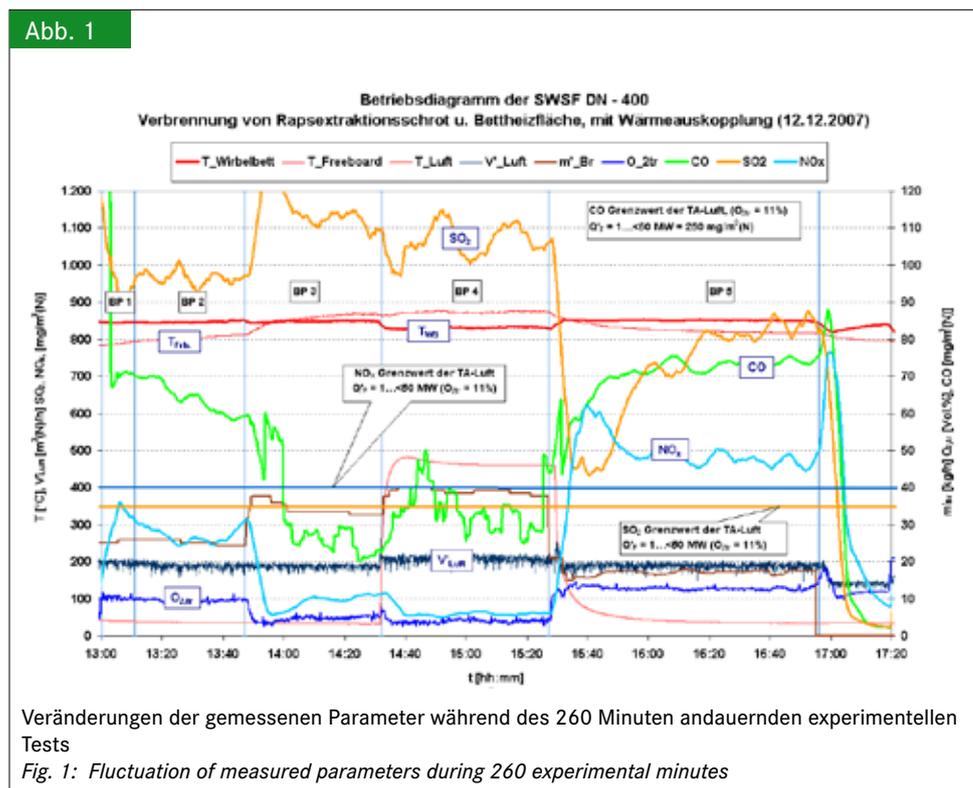
Schlussfolgerungen

Die experimentellen Ergebnisse zeigten, dass die „reduzierte“ NO_x -Konzentration der Abgase im BP4 niedriger war als der zulässige Wert der TA-Luft. An diesem Punkt war das Maximum (99,8 kW) der Wärmeauskopplung vom Wärmeübertrager und das Minimum der O_{2tr} -Konzentration war rund 3,9 Vol. %. Allerdings wurde die SO_2 -Konzentration in diesem Punkt höher. Sie war größer als der Grenzwert der TA-Luft. Demnach muss man in zukünftigen Versuchen die bereits erprobten Methoden zur Senkung der SO_2 -Konzentrationen anwenden.

Das Ergebnis der Wärmeauskopplung kann man für Anlagen in Vietnam nutzen, die einen Wärmeverbrauch aufweisen, zum Beispiel: für eine Kraft-Wärme-Kopplung-Anlage/Wärmeleistungswerk, für eine Verarbeitungsanlage von Maniokstärke, oder/und für die gleichzeitige Trocknung von anderen landwirtschaftlichen Produkten. Diese Technologie könnte man sehr gut in Entwicklungsländern wie Vietnam anwenden.

Literatur

- [1] (IET)- Institute of Environmental Technology 3 Science Park Drive: PSB Science Park Annex Singapore 118223. EC-ASEAN, Energy Facility Program, "New and Renewable Energy Opportunities for Electricity Generation in Vietnam", This report was produced in conjunction with the Technology Partnership for New & Renewable Energy (NRE) (2004), 4 & 5 March 2004, Ho Chi Minh City Vietnam, p. 1-31; www.riet.org
- [2] England, S. B. and D. M. Kammen: Energy resources and development in Vietnam. Annu. Rev. Energy Environ. 18 (1993), p. 137-67; www.annualreviews.org/aronline
- [3] Nguyen, L. T. and Q. C. Tran: Potential of Distributed Power Generation from Biomass Residues in Vietnam-Status and Prospect. Electricity Sup-



- ply Industry in Transition and Prospect for Asia (2004), 14-16 January 2004, Hanoi/Vietnam, p. 28-39.
- [4] Nguyen, Q. K.: Problems of biomass energy development of Vietnam, the report at the conference of developing firm energy in Vietnam (2006), Hanoi/Vietnam, p. 1-8. <http://www.vids.org.vn>.
- [5] Renewable Energy In Asia, the Vietnam report: An overview of the energy systems, renewable energy options, initiatives, actors and opportunities in Vietnam (2005), August 2005. Australian Business Council for Sustainable Energy 3rd Floor, 60 Leicester Street, Carlton Victoria 3053, p. 1-18; www.bcse.org.au
- [6] Steinbrecht, D. 2008. Experimentelle Untersuchungen zur SWSF - Verbrennung von Reststoffen der Biodiesel-Produktion, Internationales Wirbelschicht - Treffen 2008, Göteborg - Wien - Hamburg - Rostock - München - Graz - Essen an der TU Graz, 1. -3. Mai 2008.
- [7] TA Luft. 2002. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft), Stand: 24.06.2002. Bei: <http://www.bmu.de> (Febr. 2008).
- [8] Tung, N. D., D. Steinbrecht and et al.: Experimental Study on Hemp Residues Combustion in a small Scale stationary Fluidized Bed Combustor. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript EE 08 006. Vol. X. August (2008).

Autoren

Dinh Tung Nguyen, korrespondierender Autor, Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Lehrstuhl für Umwelttechnik, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock, Deutschland, E-Mail: dinh-tung.nguyen@uni-rostock.de; ndtung@hua.edu.vn Hochschule für Landwirtschaft in Hanoi/Vietnam, (engl. HUA-Hanoi University of Agriculture/Vietnam). **Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Steinbrecht**, Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Lehrstuhl für Umwelttechnik.

Danksagung

Besonderer Dank gilt meinem Betreuervater Herrn **Prof. Dr.-Ing. habil. D. Steinbrecht** als Leiter des Lehrstuhls für Umwelttechnik, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik der Universität Rostock, Deutschland, für seine Hilfe und Ermütigung, meine Forschungen zu veröffentlichen. Die finanzielle Unterstützung gewährte das Ministerium für Aus- und Weiterbildung Vietnam (engl. MOET). Ich danke auch meinen Kollegen **Dr.-Ing. R. Matzmohr, Dr.-Ing. H.-J. Wolff, Dipl.-Ing. E. Backhaus** und **Dipl.-Ing. J. Beu** für die Organisation des Experiments und die fachliche Diskussion des Themas. Für die notwendigen Laboranalysen bedanke ich mich bei **Dr. U. Schümann, K. Bartsch, S. Bernd**.