

## **Experimentelle Analyse der NO<sub>x</sub>-Bildung NH<sub>3</sub>-dotierter Brennstoffe an einer 50 kW<sub>th</sub> Brennkammer**

Dr.-Ing. **R. Wilhelm**, Dipl.-Ing. **T. Schmidt**, Dipl.-Ing. **J. Sternberg**;  
Dr.-Ing. **N. Schopf**, SAACKE GmbH, Bremen;  
Prof. Dr.-Ing. **M. Beckmann**, Dipl.-Ing. **C. Urlass**, Professur Verbrennung,  
Wärme- und Stoffübertragung (VWS), Technische Universität Dresden

### **1. Einleitung / Kurzfassung**

Eine Vielzahl von gasförmigen, flüssigen und festen Brennstoffen enthalten unterschiedliche, spezifische Anteile an organischen und / oder anorganischen Stickstoffverbindungen. Dies trifft auch auf viele Bio- bzw. Ersatzbrennstoffe zu. Es stehen sowohl Primär- als auch Sekundärmaßnahmen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen zur Verfügung. Wichtig für deren korrekte Auslegung ist jedoch die Kenntnis der Rohemission (NO<sub>x, Betrieb</sub>) bzw. der Umwandlungsgrad (NO<sub>x, Betrieb</sub> / NO<sub>x, max.</sub>) unter den jeweiligen Prozessbedingungen.

An einer Versuchsbrennkammer mit einer thermischen Leistung von 50 kW wurden mit einem ungestuften Drallbrenner Messungen unter Verwendung von NH<sub>3</sub>-dotierten Brennstoffen bei verschiedenen Prozessbedingungen durchgeführt und ausgewertet. Der Gehalt an Ammoniak wurde dabei in einem weiten Bereich gezielt verändert. Durch eine variable Auswahl der Abgasrezirkulationsraten bei der Verbrennung an der Versuchsanlage wurden die Verhältnisse hinsichtlich Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Stöchiometrie in der Brennkammer sehr unterschiedlich gestaltet.

Zum besseren Vergleich der Rohemissionen aus Feuerungen für gasförmige, flüssige und feste Brennstoffe mit zum Teil stark unterschiedlichen Heizwerten und Stickstoffgehalten schlagen die Autoren einen einheitlichen Bezug des Gehaltes an nichtmolekularem Stickstoff sowie der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf die spezifische, umgesetzte Energiemenge vor.

### **2. Experimenteller Aufbau**

In Bild1 ist das Verfahrensfliessbild der Technikumsanlage dargestellt. Deren Kernelement bildet die modulare zylindrische Brennkammer mit dem zentral angeordneten Deckenbrenner für staubförmige und gasförmige Brennstoffe [1]. Die Verbrennungsabgase werden nach Austritt aus der Brennkammer auf ca. 200 °C abgekühlt und im nachgeschalteten Filter entstaubt. Ein Teil des Abgases kann mit einem Ventilator rezirkuliert werden, der Rest wird mit dem Saugzug abgeführt. Das rezirkulierte Abgas kann in variablen Verhältnissen der Primär- und Sekundärluft hinzugefügt werden. Mit dem primären Strom wird der staubförmige Brennstoff zum Brenner gefördert. Brenngas und Ammoniak werden über eine separate zentrale Lanze im Brenner in die Brennkammer eingedüst.

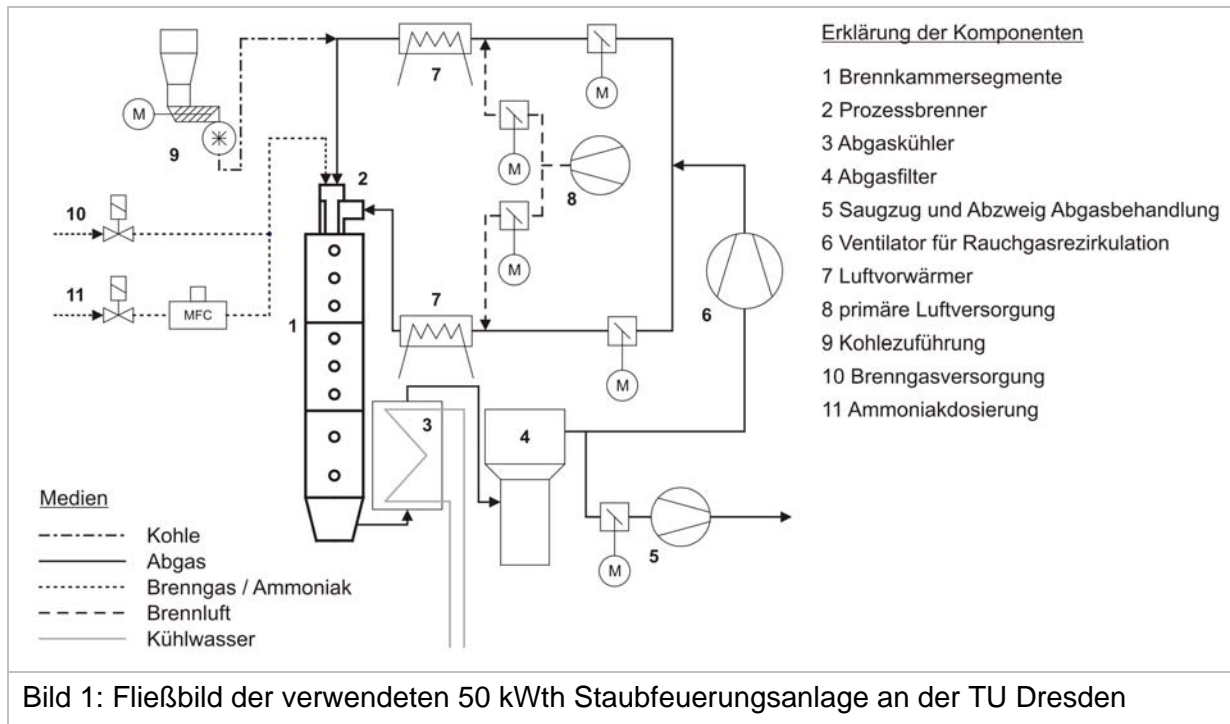


Bild 1: Fließbild der verwendeten 50 kWth Staubfeuerungsanlage an der TU Dresden

### 3. Ergebnisse mit NH<sub>3</sub>-dotiertem Propangas

Die Tests erfolgten in einem Luftzahlbereich von  $\lambda = 1,3 \dots 2,2$  und mit Abgasrezirkulationsraten  $\alpha$  zwischen 0 ... 90 %. Die beiden Parameter spielten im untersuchten Bereich erwartungsgemäß eine untergeordnete Rolle, siehe Bild 2. Die Dosierung an NH<sub>3</sub> in den Brennstoff betrug 0 ... 0,6 Ma.-% (entspricht 0 ... 121 mg<sub>N</sub>/MJ). Für den exakteren Vergleich der Messwerte untereinander in Bezug auf die Bildung an Brennstoff-NO ist in Bild 2 der NO-Wert aufgetragen, in welchem der Anteil an thermischen NO<sub>x</sub> bei 0,0 mg<sub>N</sub>/MJ abgezogen ist [3]. Durch den Bezug der Stickstoffanteile im Brennstoff sowie der gebildeten NO<sub>x</sub>-Emissionen auf den Heizwert können nun gasförmige, flüssige und feste Brennstoffe mit unterschiedlichen Heizwerten in beliebigen stöchiometrischen Verhältnissen untereinander verglichen werden. In Bild 3 sind die Umwandlungsraten

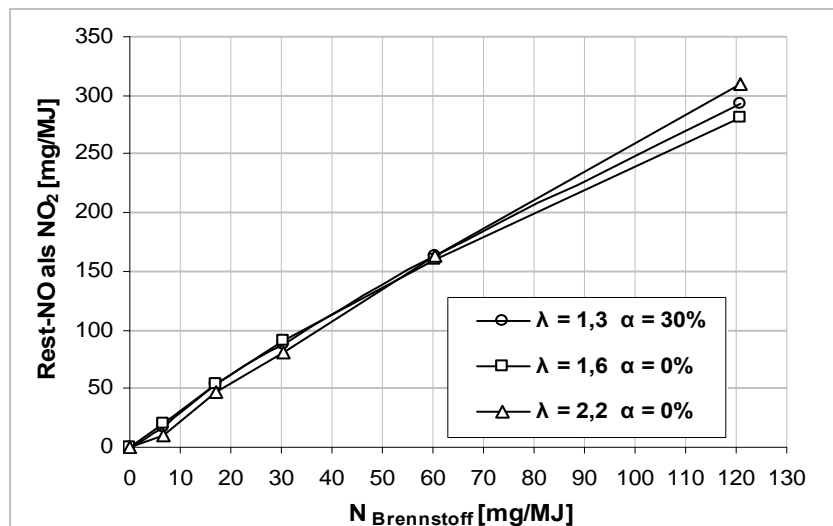


Bild 2: Gemessene NO-Konzentrationen für verschiedene Betriebseinstellungen und Anteile an Brennstoffstickstoff

der Tests mit  $\text{NH}_3$ -dotiertem Propan mit denen der Literaturangaben für Heizöle verglichen [2]. Die Messwerte für Heizöle wurden in die adäquaten Einheiten (abzgl. thermisches NO) umgerechnet. Die Umwandlungsraten des  $\text{NH}_3$ -dotierten Propan bei ungestufter Verbrennung liegen im untersuchten Bereich höher als die Vergleichswerte aus der Heizölverbrennung.

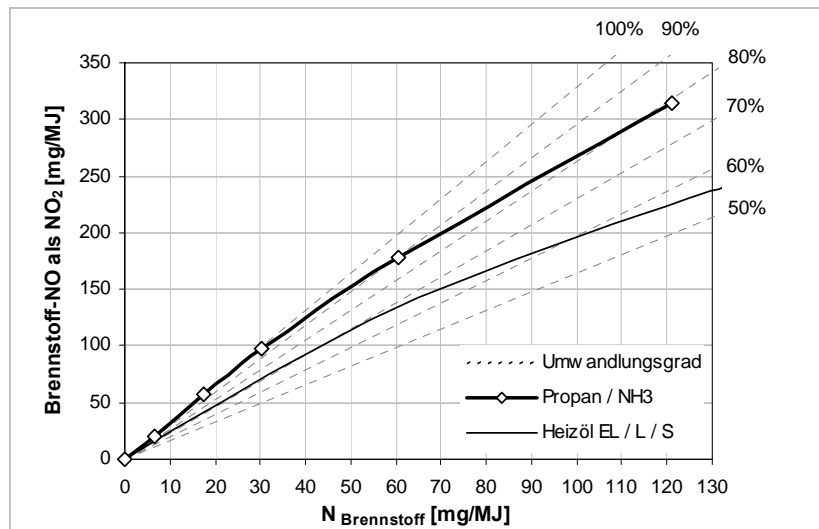


Bild 3: Umwandlungsraten

#### 4. Ergebnisse mit Trockenbraunkohle

Für die Tests wurde Trockenbraunkohle aus dem Lausitzer Revier verwendet. Der Stickstoffanteil des untersuchten Brennstoffs beträgt 0,61 Ma.-% (entspricht  $290 \text{ mg}_N / \text{MJ}$ ). Ausgehend von diesem Basiswert wurde der Anteil an Stickstoff im Brennstoff durch die Zugabe von Ammoniak auf 4 Ma.-% ( $1900 \text{ mg}_N / \text{MJ}$ ) erhöht. Die Luftzahl sank infolge der steigenden Ammoniakzugabe von 1,29 auf 1,24. Der Einfluss von thermischer NO-Bildung ist bei Verbrennungstemperaturen von maximal  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  vernachlässigbar. Die Gasanalysenwerte für Stickstoffmonoxid, Kohlenmonoxid und Sauerstoff in Abhängigkeit vom Stickstoffanteil im Brennstoff sind in Bild 4 dargestellt. Erwartungsgemäß steigt die Konzentration des Stickstoffmonoxids mit zunehmendem Brennstoffstickstoffanteil an.

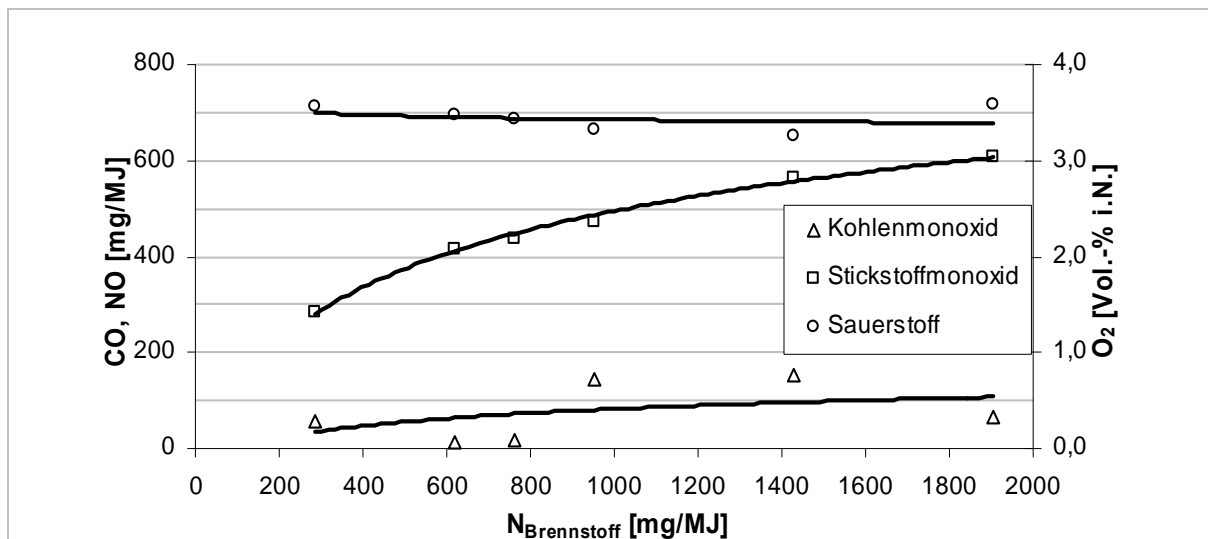


Bild 4: Verlauf von Stickoxid-, Kohlenmonoxid- und Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit vom Brennstoffstickstoffanteil [3]

## 5. Zusammenfassung

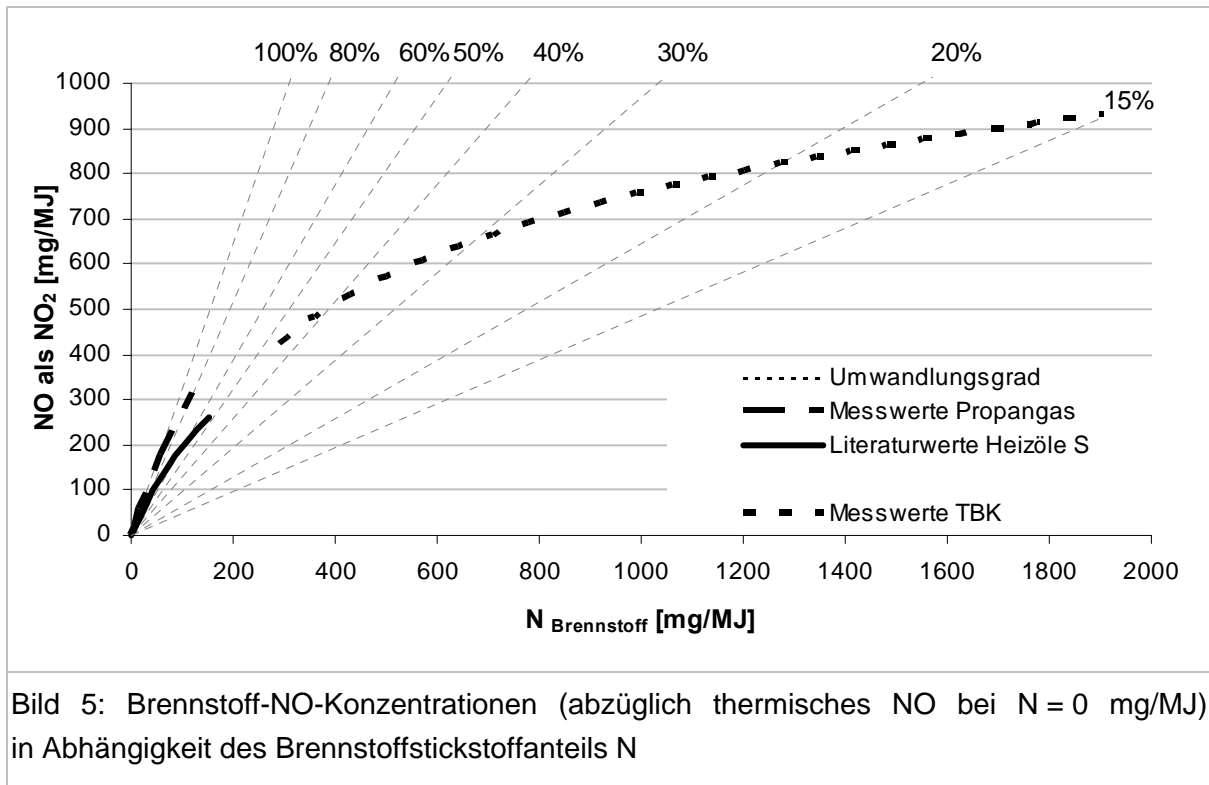


Bild 5 zeigt die Messergebnisse der Tests mit den NH<sub>3</sub>-dotierten Brennstoffen zusammenfassend. Zum Vergleich sind die umgerechneten Literaturwerte für Heizöle ergänzt. Durch den Bezug der Emissionen sowie des Gehaltes an Stickstoff auf den Heizwert der Brennstoffe lassen sich die Umwandlungsgrade trotz verschiedener Prozessbedingungen sehr gut untereinander vergleichen. Der höhere Umwandlungsgrad bei Gas ist im Vergleich zu Heizöl und Kohle deutlich. Der Brennstoffstickstoff wird in höherem Maße zu NO<sub>x</sub> umgesetzt. Die unterschiedlichen Reaktionsabläufe und –mechanismen der betrachteten Brennstoffe haben offenbar Einfluß auf den Umwandlungsgrad.

## 6. Literaturverweise:

- [1] Wilhelm, R.; Weigl, S.; Beckmann, M. (2008): Vergleich einer konventionellen TBK-Feuerung mit einer Oxyfuel-TBK-Feuerung anhand von Untersuchungen zur Stickoxidbildung bzw. –reduktion an der 50 kW Staubfeuerungsversuchsanlage, *Dresden, Tagungsband Kraftwerkstechnisches Kolloquium 2008 – Band 1*. S. 220-231.
- [2] Pershing, D. W.; Cichanowicz, J.E.; England, G. C.; Heap, M. P.; Martin, G. B. (1979): The Influence of fuel composition and flame temperature on the formation of thermal and fuel NO<sub>x</sub> in residual oil flames. *Symposium on Combustion, Vol. 17*, S. 715-726.
- [3] Urlass, C.: Reaktionsgleichgewichte bei der Brennstoff-NO Bildung und Reduktion in Gas- und Kohlefeuerungen, Diplomarbeit, TU Dresden, 2011