

GRUNDLAGENUNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS BIOGENER KRAFTSTOFFE AUF DIE PARTIKELEMISSIONEN BEI DER OTTOMOTORISCHEN VERBRENNUNG

Isabel FRENZEL¹, Dimosthenis TRIMIS², Hartmut KRAUSE¹

Inhalt

Mit der EURO 6 Norm wurde 2014 erstmals zusätzlich zur Partikelmasse auch die zulässige Rußpartikelanzahl von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor limitiert. Es ist bekannt, dass die Werte für den Rußpartikelaustritt der Ottomotoren aktuell teilweise außerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte liegen. Somit besteht weiterhin die Notwendigkeit an der Verbesserung und der Entwicklung neuer Methoden zur Reduktion des Rußausstoßes zu arbeiten. Aus diesem Grund ist es dringend erforderlich die grundlegenden Prozesse der Rußpartikelbildung und die Einflussparameter im Detail zu verstehen. Zusätzlich zu den verschärften Grenzwerten für Partikelemissionen für Kraftfahrzeuge werden vermehrt biogene Kraftstoffe eingesetzt um die fossilen Kraftstoffe zu ersetzen und, da sie als CO₂-neutral gelten, die CO₂-Emissionen zu vermindern. Aktuell beträgt der Grenzwert 130 g CO₂/km. Die Europäische Union hat jedoch einen Wert von 95 g CO₂/km als Ausstoßziel für Neuwagen bis 2020 festgelegt [1]. Außerdem sollen bis 2020 mindestens 10 % der notwendigen Energie im Transportsektor durch erneuerbare Energieträger abgedeckt werden [2]. Bioethanol wird bereits weltweit zum konventionellen Kraftstoff beigemischt. In Deutschland beispielsweise ist E5 (5 % Ethanolbeimischung) für jedes Auto ohne weitere Umrüstungen verwendbar und auch E10 wird bereits eingesetzt. Darüber hinaus erlangen neben Ethanol besonders Biokraftstoffe der zweiten Generation, wie z. B. Butanol, an Bedeutung, da für die Herstellung Biomasse aus Lignocellulose oder Pflanzenresten eingesetzt werden kann und somit keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelindustrie besteht. [3]

Der Stand der Forschung zur Beimischung von biogenen Kraftstoffen, wie Ethanol oder Butanol, zum konventionellen Ottokraftstoff in Bezug auf die Rußpartikelbildung zeigt widersprüchliche Ergebnisse auf. Es existieren sowohl Studien, welche eine Reduktion des Rußausstoßes bei Zumischung von Ethanol nachweisen [4, 5] als auch Studien, in denen eine Erhöhung der Partikelemissionen festgestellt wurde [6, 7]. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es ein grundsätzliches Verständnis für den Einfluss von Ethanol und Butanol auf die Rußpartikelbildung zu entwickeln. In diesem Kontext wurden Flammenstruktur und Rußbildungsprozess bei der Anwendung flüssiger Brennstoffe mit biogenem Anteil in unterschiedlichen volumetrischen Zusammensetzungen in laminaren vorgemischten Modellflammen eines Flachflammenbrenners grundlegend charakterisiert. Der Schwerpunkt lag darin experimentelle Daten ohne den Einfluss von komplexen Wechselwirkungen hervorgerufen durch den motorischen Betrieb zu generieren. Die Ergebnisse leisten somit einen wertvollen Beitrag für das grundlegende Verständnis zur Entkopplung chemischer und physikalischer Effekte bei der motorischen Verbrennung.

Methodik

Für die Untersuchungen wurde ein McKenna-Brenner [8] genutzt, mit welchem der Partikelbildungsprozess bei unterstöchiometrischer Verbrennung in eindimensionalen, stationären, atmosphärischen, laminaren, vorgemischten Flammen isoliert betrachtet werden konnte. Es wurde ein Versuchsstand genutzt, in welchem der Flachflammenbrenner (poröse wassergekühlte Brennerplatte aus Bronze, \varnothing 60 mm) gemeinsam mit der entsprechenden Medienbereitstellung, -konditionierung, weiterer notwendiger Peripherie und den Messtechniken mit den entsprechenden Probenahmesystemen integriert war. Die experimentellen Studien umfassten neben der Messung von Flammentemperaturen mittels Thermoelement und wichtigen Flammengasspezies (Hauptspezies, gasförmige Rußvorläufer) mittels Gaschromatograph, die Untersuchung des Rußes mittels Scanning Mobility Particle Sizers. Rußpartikelgrößenverteilungen wurden in verschiedenen Höhen der Modellflammen in-situ gemessen.

¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Gustav-Zeuner-Straße 7, 09599 Freiberg, Tel.: +49 3731 393013, Fax: +49 3731 393942, isabel.frenzel@iwtt.tu-freiberg.de, www.gwa.tu-freiberg.de

² Karlsruhe Institute of Technology / Engler-Bunte-Institut, Bereich Verbrennungstechnik, Engler-Bunte-Ring 1, 76131 Karlsruhe

Aufgrund dessen, dass Ottokraftstoff eine Vielzahl an unterschiedlichen Verbindungen beinhaltet, wurde dieser in der vorliegenden Arbeit durch den Referenzkraftstoff Isooktan ersetzt, welches in seinen Eigenschaften dem Vielstoffgemisch Benzin ähnlich ist. Die Untersuchungen wurden für atmosphärische Bedingungen für ein Brennstoff/Oxidatorverhältnis von $\phi = 2.3$, eine Vorwärmtemperatur des Brennstoff/Oxidator-Gemisches von 353 K und Ethanol- und Butanolbeimischungen im Bereich von 0 % bis 85 % zum Isooktan durchgeführt. Zusätzlich dazu wurden auch reine Ethanol- und Butanol-Flammen untersucht.

Ergebnisse

In Abbildung 1 sind die Partikelgrößenverteilungen des Rußes, welcher aus den untersuchten Isooktan/Ethanol-Flammen (linkes Diagramm) und den Isooktan/Butanol-Flammen (rechtes Diagramm) in einer Höhe von 8 mm über der Brennerplatte entnommen wurde, dargestellt. Die Rußpartikelgrößenverteilung der Isooktan-Referenzflamme ist bimodal und der zweite Teil des Graphen ist nahezu logarithmisch normalverteilt mit einem medianen Partikeldurchmesser von ca. 9 nm und einem maximalen Partikeldurchmesser von ca. 14 nm.

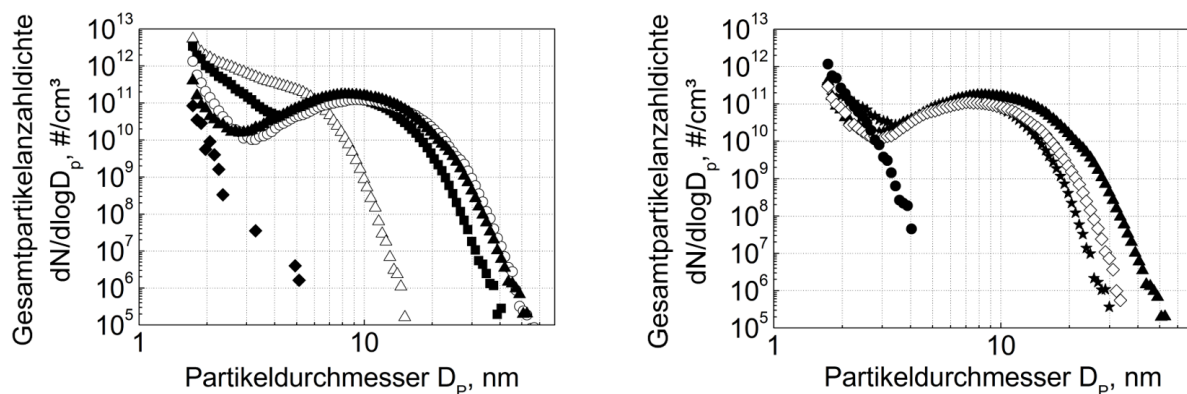


Abbildung 1: Rußpartikelgrößenverteilungen in E0 (\blacktriangle), E20 (\circ), E40 (\blacksquare), E65 (\triangle) und E85 (\blacklozenge) Flammen (links) und B0 (\blacktriangle), B20 (\diamond), B40 (\star) und B100 (\bullet) Flammen (rechts) in einer Flammhöhe von 8 mm

Mit der Beimischung von Ethanol, bzw. Butanol werden die Verteilungen zu kleinen Partikeldurchmessern verschoben und sie werden unimodal. Je größer der Anteil am Biokraftstoff im Brennstoffgemisch ist, desto signifikanter ist die Reduktion der Rußbildung ausgeprägt. Es werden keine, bzw. viel weniger große Partikel gebildet, die Anzahl der sehr kleinen Partikel bleibt aber nahezu unverändert. Die oxygenierten Brennstoffe Ethanol und Butanol haben somit zwar einen positiven Einfluss auf die Rußmenge, allerdings haben die sehr kleinen Rußpartikel im Vergleich zu den großen einen stärkeren Einfluss auf die menschliche Gesundheit. Daraus folgt, dass die Beimischung hoher Anteile der biogenen Kraftstoffe zum konventionellen Ottokraftstoff zu neuen Herausforderungen speziell in Bezug auf die Rußbildung während des Verbrennungsprozesses führen könnte.

Referenzen

- [1] Europäische Kommission: Verordnung (EG) Nr. 459/2012 (2012).
- [2] European Commission: Directive 2009/28/EC (2009).
- [3] [Demirbas 2009] A. Demirbas: Applied Energy 86 (2009), S. S108-S117.
- [4] J. Lee, R. Patel, A. Schonborn, N. Ladommatos: Energy Fuel 23 (2009), S. 4363-4369.
- [5] J.M.E. Storey, T.L. Barone, J.F. Thomas, S.P. Huff: SAE Technical Paper 2012-01-0437 (2012).
- [6] L. Chen, R. Stone: Energy Fuel 25 (2011), S. 1254-1259.
- [7] R. Daniel, H. Xu, C. Wang, D. Richardson, S. Shuai: Applied Energy 105 (2013), S. 252-261.
- [8] The McKenna Flat Flame Burner, Holthuis & Associates, P.O. Box 1531, Sebastopol, CA 95473.