

Mobiler Russgenerator

Moderne Dieselfahrzeuge verfügen über Abgasfilter, mit denen der Partikelaustritt um mehr als 99,9 Prozent reduziert wird. Die Überprüfung der Wirkung der Filter muss in spezialisierten Labors durchgeführt werden. Um solche Überprüfungen in Zukunft auch in Autowerkstätten durchführen zu können, werden neue mobile Messgeräte entwickelt. Zur Kalibrierung solcher Geräte wurde eine künstliche Russquelle entwickelt. Der mobile Russgenerator funktioniert einerseits sehr präzise, andererseits ist das Gerät auch klein und handlich.

VON SANDRO SCHÄRER, RAINER BUNGE
UND LIANPENG JING

Die Umweltgefährdung durch ultrafeine Russpartikel wurde in der Vergangenheit stark unterschätzt. Solche Partikel werden vor allem durch Fahrzeuge und durch Feuerungsanlagen ausgestossen. Die aktuellen Grenzwerte für Russ (z.B. gemäss Luftreinhalteverordnung oder Euro-Grenzwerte) beziehen sich auf das gesamte Partikelgewicht pro Luftvolumen. Sie unterscheiden nicht zwischen den lungengängigen Ultrafeinpartikeln (PM10 bzw. PM2,5) und den vergleichsweise wenig gefährlichen Grobpartikeln. Für die Beurteilung der Toxizität von Russpartikeln sind diese Grenzwerte also praktisch wertlos. Allerdings gibt es Bestrebungen die dafür plädieren, nicht das Partikelgewicht, sondern die Anzahl der Partikel im Abgas zu messen. Bei diesem Verfahren würden die toxikologisch relevanten Ultrafeinpartikel wesentlich stärker gewichtet.

Pocket-Version entwickelt

Eine Routineabgaskontrolle von Partikelfiltern in Autowerkstätten, mit der die Abscheideleistung der Filter für Ultrafeinpartikel beurteilt wird, ist derzeit nicht möglich, da die erforderliche robuste und preiswerte Messtechnik für ultrafeine Russpartikel

nicht verfügbar ist. Die marktüblichen Geräte sind vergleichsweise teuer und können in der Regel nur von spezialisiertem Laborpersonal unter definierten Randbedingungen bedient werden. Allerdings befinden sich Messgeräte für den mobilen Einsatz in Autowerkstätten in der Entwicklung. Um solche Geräte zu kalibrieren ist ein mobiler Russgenerator erforderlich, der ultrafeine Partikel in definierter Grösse und Konzentration produziert.

In Zusammenarbeit mit zwei Unternehmen wurde vom Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik in

Rapperswil ein solcher Russgenerator, der «Pocket-Cast», entwickelt (siehe Abb. 1). Die Basis der Entwicklung stellt der grosse, stationär betriebene Labor-Russgenerator «Cast» dar. Der Pocket-Cast ist im Wesentlichen eine Scale-Down-Variante des stationären Gerätes, wobei allerdings einige substantielle Veränderungen vorgenommen wurden. **Das Entwicklungsprojekt wurde mit Unterstützung der Technologieförderung des Bundesamtes für Umwelt realisiert.**

Eine Alternative zu den bislang als Russquellen verwendeten Dieselmotoren



Abb. 1: Funktionsfähiger Prototyp des mobilen Russgenerators Pocket-Cast.

Prof. Dr. Rainer Bunge

Leiter am Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik, Hochschule für Technik, Rapperswil.

Sandro Schärer

Maschinenbau, FH, Stv. Leiter am Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik, Hochschule für Technik, Rapperswil.

Dr. Lianpeng Jing

Jing AG, Umwelttechnik, Zollikofen.

toren ist der kommerziell vertriebene Russgenerator Cast. Sein Wirkungsprinzip ist in Abbildung 2 dargestellt. Das Brenngas und die Verbrennungsluft werden zusammengeführt und in einer zylindrischen Diffusionsflamme verbrannt. Durch die Regulierung der Gasflüsse im Cast lässt sich in der Brennkammer eine russbildende Flamme einstellen. Der russhaltige Abgasstrom verlässt die Brennkammer durch die obere Öffnung. Dort wird ein Quenchgas eingeleitet, welches die Flamme ablöscht und die Partikelkonzentration verdünnt. Die Partikelgrösse des Russes hängt weitgehend von der Geometrie der Flamme respektive dem Löschpunkt ab.

Russbildung

Als Diffusionsflamme (leuchtende Flamme) wird eine Flamme mit einem niedrigen Sauerstoffanteil bezeichnet. In der Flamme bildet sich aufgrund des Sauerstoffmangels Russ, der für ein intensives Leuchten verantwortlich ist. Die Gemischbildung zwischen Brennstoff und Sauerstoff ist dabei heterogen. Die Vermischung des Brennstoffs und des Sauerstoffs erfolgt durch laminare und turbulente Diffusionsvorgänge. Dies führt dazu, dass Brenngas und Luftsauerstoff nur in der Grenzzone, der sogenannten Flammenfront, miteinander reagieren. Die Reaktionsgeschwindigkeit hängt von der Diffusionsgeschwindigkeit zwischen Brenngas und Luftsauerstoff in der Flammenfront ab. Im Alltag ist die Kerzenflamme die wohl bekannteste Diffusionsflamme. Bei der Verbrennung im Dieselmotor entsteht ebenfalls eine Diffusionsflamme. Darin finden Koagulations-, Agglomerations- und Oxidationsprozesse statt.

Die Koagulation führt zum Wachstum der Partikel durch Zusammenlagerung mit anschliessendem Verschmelzen. Durch diesen Prozess wird das Grössenwachstum der Partikel gefördert. Dabei bleibt zwar die Russmasse konstant, aber die Partikelanzahl nimmt ab. Der Koagulationsverlauf hat entscheidenden Einfluss auf die Grössenverteilung des Russes. Die Agglomeration führt zum Wachstum der Partikel durch die Bildung von kettenförmigen Strukturen.

An der Flammenfront kommt es zu einer Nachoxidation von Russ unter Einfluss von OH-, HO₂- und O-Radikalen. Diese Nachoxidation wiederum führt zur Verkleinerung der Russpartikel (Hu, 2001). Durch das gezielte Einblasen eines Quenchgases rechtwinklig zur Flamme werden die Agglomerations- und die Nachoxidationsprozesse der Russpartikel effizient gestoppt.

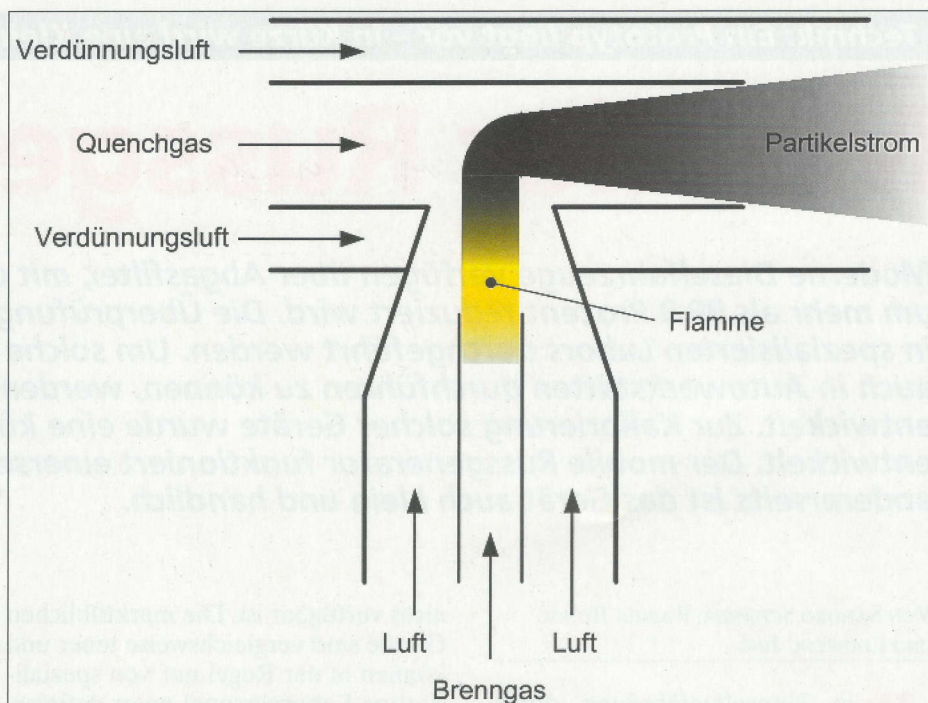


Abb. 2: Verfahrensschema des stationär betriebenen Russgenerators Cast.

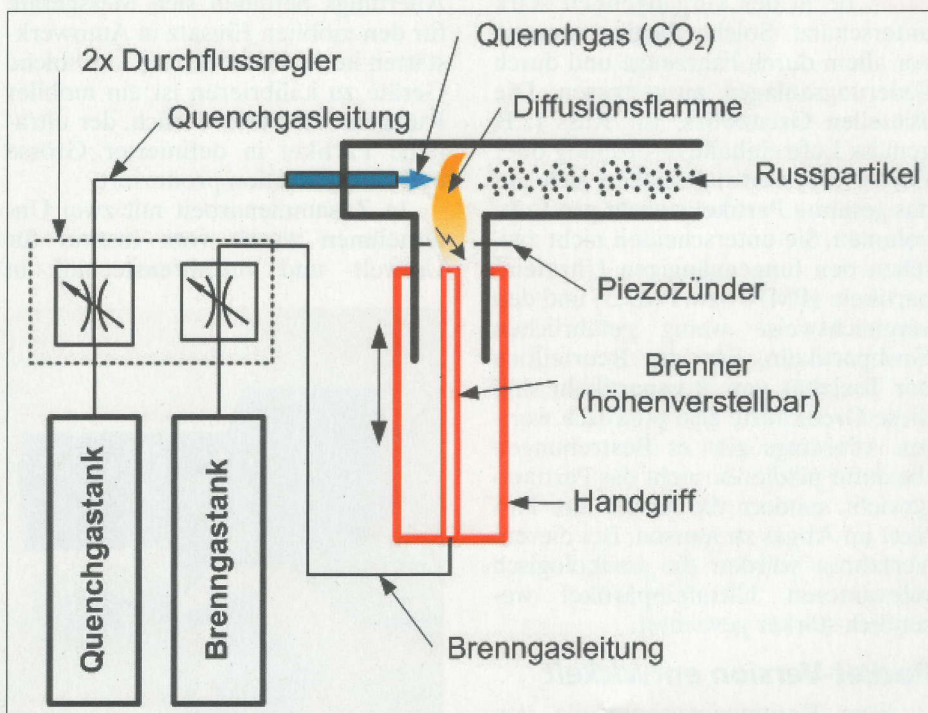


Abb. 3 zeigt die Funktionsweise des Pocket-Cast.

Das Vorgehen

In einem Funktionsmodell wurde ein handelsüblicher GaslötKolben zu einem einfachen Brenner mit Diffusionsflamme umfunktioniert. Zuerst wurden folgende zwei Fragen untersucht:

- ☞ Welches Quenchgas (Luft, Kohlendioxid, Argon, Stickstoff) ist für die Erzeugung von Partikeln besonders gut geeignet?
- ☞ Welchen Einfluss haben unterschiedlich zusammengesetzte handelsübliche Brenngase (Propan, Butan, Isobutan usw.) sowie die Po-

sition der Quenchgaseinleitung auf die Grösse und Anzahl der Russpartikel?

Die Verwendung von Luft als Quenchgas hat sich als nicht sinnvoll erwiesen, denn mit Luftsauerstoff wurden die Russpartikel in einer nicht reproduzierbaren Weise mehr oder minder partiell oxidiert. Da die Russpartikel anschliessend in einer nicht reproduzierbaren Grössenverteilung vorlagen, ist Luft als Quenchgas offenbar ungeeignet. Um den Verbrennungsprozess abrupt zu stoppen wurden deshalb Inertgase als Quenchgase

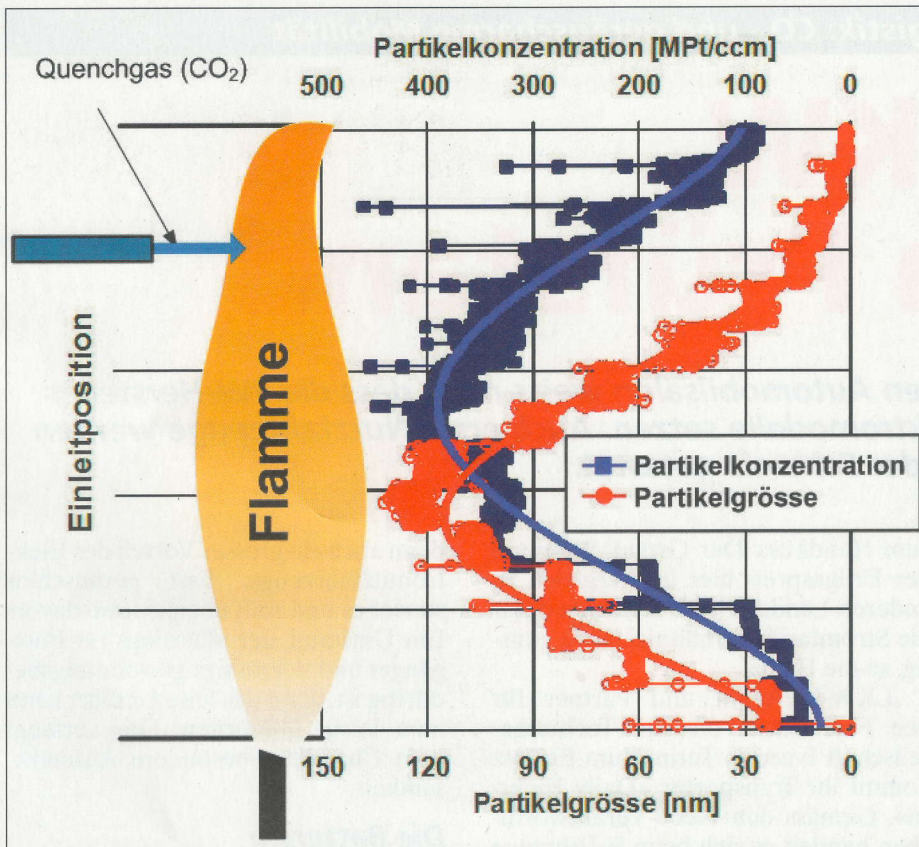


Abb. 4: Größenverteilung und Konzentration der Partikel am Ausgang des Pocket-Cast.

getestet. Kohlendioxid zeigte sich als das am besten geeignete und preiswerteste Gas. Das Verschieben der Flammenposition gegenüber dem Quenchgasstrom erwies sich als einfachste Möglichkeit, um die Partikelgrößenverteilung zu verändern. Der Einfluss der Brenngaszusammensetzung auf die Partikelgröße und -anzahl war erstaunlich gering.

Der Pocket-Cast verfügt über zwei wiederbefüllbare Tanks, davon einer gefüllt mit Quenchgas und einer mit Brenngas. Die Tanks sind über flexible Leitungen mit dem Pocket-Cast verbunden. Der Brenngas- und Löschgastank wiegen je 1,5 kg und können an einem Materialgürtel am Körper getragen werden. Um den Gasfluss konstant zu halten, sind zwei Durchflussregler installiert. Die Zündung des Brenngases erfolgt über ein Piezo-Element oberhalb des Brenners. Das horizontal einströmende Quenchgas mit einem definierten Gasstrom stoppt den Verbrennungsprozess in der Diffusionsflamme. Der Brenner ist höhenverstellbar, sodass die Einleitungsposition des Quench-

gases variabel ist. Damit werden entsprechend den Kundenbedürfnissen die Größe und Anzahl der Russpartikel gesteuert.

Cast-Prinzip vereinfacht

Die Entwicklung des Pocket-Cast erforderte eine Vereinfachung des Prinzips. Es galt die Anzahl der Komponenten auf ein Minimum zu reduzieren und Baukomponenten hinsichtlich des bestmöglichen Kosten/Nutzen-Verhältnisses zu evaluieren. Je nach Einleitungsposition des Quenchgases lassen sich Partikelgrößenverteilung und Partikelkonzentration variieren.

In Abbildung 4 ist dargestellt, mit welcher Größe (in Nanometer) und Anzahl (in Million Partikel pro Kubikzentimeter Luft) Partikel generiert werden können. Die blaue Kurve stellt die Partikelkonzentration dar und die rote Kurve entspricht der Partikelgröße bei der gewählten Einleitposition des Quenchgases zur Flamme. In dem Beispiel werden Partikel in einem Größenbereich zwischen 30 und 130 Nanometer in einer für Dieselmotoren typischen Konzentration von 10^6 bis 10^8 Partikel pro Kubikzentimeter Luft erzeugt.

Der Prototyp weist eine hohe Stabilität der Flamme auf. Grund dafür ist der sogenannte Venturi-Effekt, welcher durch den Quenchgasstrom in der Brennkammer entsteht. Die Luft strömt um die Flamme und stabilisiert diese innerhalb der Brennkammer. Diese Strömung führt dazu, dass sich selbst im gekippten Zustand die Position der Flamme kaum verändert (siehe Abb. 5).

Dank der speziellen Luftführung in der Brennkammer ist ein stabiler Betrieb auch im stark gekippten Einsatz, also bei einer deutlichen Abweichung von der Waagerechten, möglich.

Der Pocket-Cast ist handlich, preisgünstig, robust und präzise. Er ist mit einem Brenngas- und einem Löschgastank für eine Betriebsdauer von 60 Minuten ausgelegt. Der Prototyp ist soweit entwickelt, dass in Kürze mit der Produktion einer Kleinserie begonnen wird.

Literaturhinweis:

Hu D. (2001), *Modellierung und Modellentwicklung der Russbildung bei hohem Druck in vorgemischten Verbrennungssystemen*, Institut für Verbrennungstechnik Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart, Deutschland

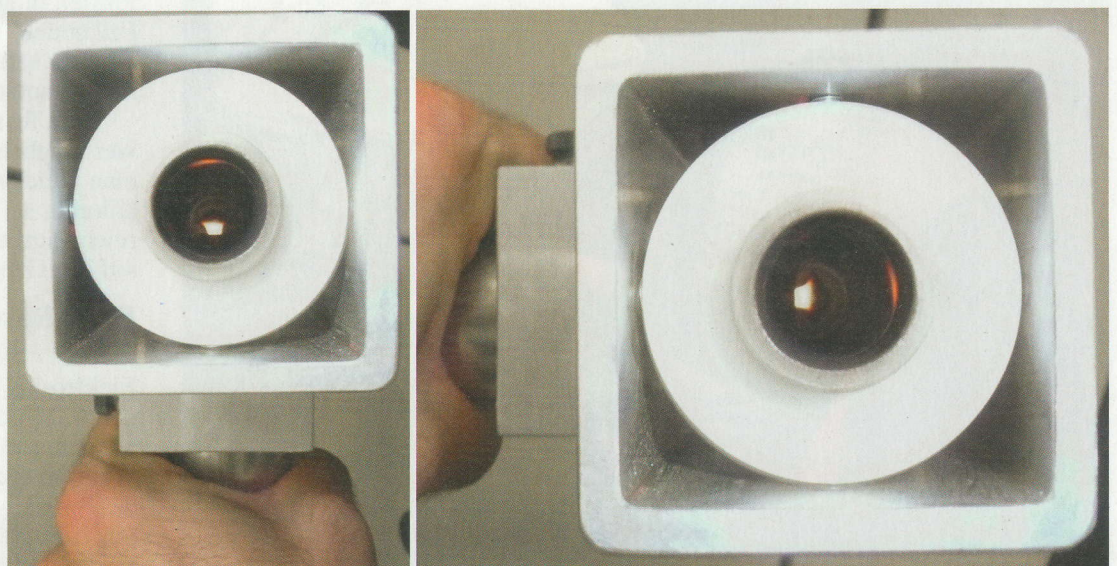


Abb. 5: Der «Pocket-Cast» ist vertikal als auch um 90° seitlich gekippt einsetzbar.