

**Partikelmessungen im Abgas eines Hatz-Industriemotors
unter Verwendung des GfA-
Abgasnachbehandlungssystems**

-Ergebnisbericht-

Auftraggeber:

GfA
Gesellschaft für Abgasentgiftungsanlagen
Budenheimer Weg 21
D-55262 Heidesheim

Auftragnehmer:

Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Aerosolforschung
Pharmaforschung und klinische Inhalation
Nikolai-Fuchs-Str. 1
30625 Hannover

Bearbeiter: Dr. Gerhard Pohlmann

Tel: 0511 5350-116
Fax: 0511 5350-155

Hannover, 8. Mai 2002

Einleitung

Die Gesellschaft für Abgasentgiftungsanlagen mbH (GFA) stellt Dieselpartikelfilter für Dieselmotoren im Nutzfahrzeugbereich her. Die schadstoffhaltigen Dieselabgase verlassen, durch Spuren katalytisch wirkenden Additivs (Ferrocen: KAT-2000) konditioniert, den Brennraum des Dieselmotors. Das Additiv wird im Mischungsverhältnis 1:1000 dem Kraftstoff beigemischt. Die bei der Verbrennung entstehenden Rußpartikel werden zusammen mit den bei der Verbrennung entstehenden Ferrocenprodukten in dem Dieselpartikelfilter abgeschieden. Der Ferrocenzusatz dient dazu, die Verbrennungstemperatur des Rußes im Dieselpartikelfilter katalytisch soweit abzusenken, dass schon während des normalen Betriebes die Rußverbrennung und damit die Regenerierung des Filters einsetzt.

Aufgabenstellung

Durch den Ferrocenzusatz besteht prinzipiell die Möglichkeit der Freisetzung ultrafeiner, eisenhaltiger Partikel. In den hier beschriebenen Versuchen sollte eine Kombination, bestehend aus einem Hatz Diesel Industriemotor und einem GFA-Abgasnachbehandlungssystem (GKF-Dieselpartikelfilter CKD/5) auf die Emission ultrafeiner, fester Partikel geprüft und es sollte der Wirkungsgrad des Filters bestimmt werden.

Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden am Fraunhofer-ITA an einem Verdünnungstunnel durchgeführt. Für die Versuche wurde ein Hatz Diesel Industriemotor Typ 1D81Z mit einem SINCRO ET2 L-S Stromgenerator eingesetzt. Um die nötige Last für den Motor zu erreichen wurde mit dem bereitgestellten Strom ein Heizlüfter der Firma Schniewindt (3 kW Leistung) betrieben. Der Motor wurde bei konstant 3000 U/Min betrieben. Das Abgas wurde, wie in Abbildung 1 wiedergegeben, über eine isolierte Edelstahlleitung in den Verdünnungstunnel gegeben, dort um den Faktor 15 verdünnt, ein Teilstrom entnommen und vermessen.

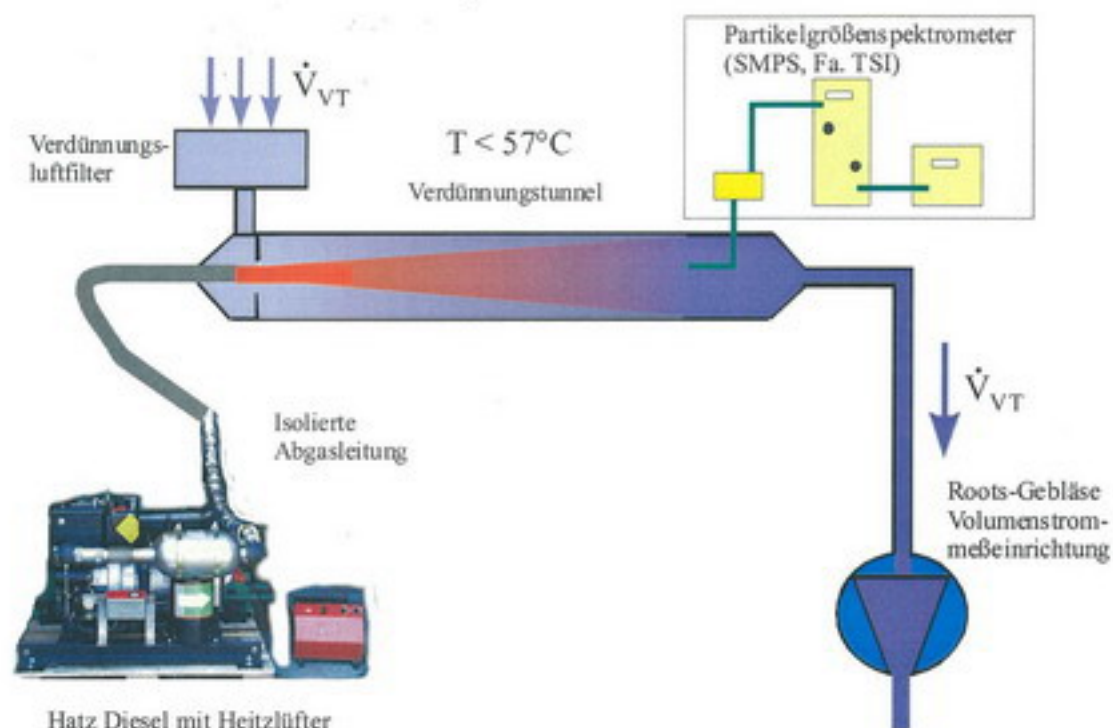


Abbildung 1: Messung der Partikelgrößenverteilung am HATZ Diesel.

Eine empfindliche Messmethode zur Bestimmung dieser kleinen Partikel ist die Anzahlkonzentrationsmessung mit einem Kondensationskernzähler. Der verwendete Aufbau zur Messung der Anzahlgrößenverteilung der Partikel (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS) erlaubt die Erfassung eines Größenbereiches von 7 - 300 nm. Das verwendete SMPS-System der Fa. TSI besteht aus zwei Komponenten: Dem Differentialmobilitätsspektrometer (Modell 3071 Electrostatic Classifier, Fa. TSI) zur Klassierung der Partikel nach ihrer elektrischen Mobilität und dem Kondensationspartikelzähler (Modell 3025 CPC, Fa. TSI) zur Detektion der Partikel. Die Arbeitsweise des Electrostatic Classifier ist z.B. beschrieben in Liu et al. (1974), die des Kondensationskernzählers in Keady et al. (1988). Die Arbeitsweise des gesamten Systems als SMPS ist beschrieben in Wang und Flagan (1989). Als Ergebnis der Messungen mit dem SMPS erhält man die Anzahlgrößenverteilung über dem Mobilitätswert, der nicht zu verwechseln ist mit dem aerodynamischen Durchmesser.

Unter Zuhilfenahme des SMPS und eines Thermodenuders (Eigenbau Fraunhofer-ITA), der die verdampfbaren Komponenten dem Aerosols vor der Messung entzieht, wurde die Verdünnungsluft (\dot{V}_{VT}) so eingeregelt, dass während des Betriebes mit Dieselpartikel- filter keine Kondensation von z.B. Wasserdampf einsetzte ($\dot{V}_{VT} = 450 \text{ m}^3/\text{h}$) und so die

Ergebnisse verfälschte. Für die Bestimmung des Wirkungsgrades des Filters wurde der Aufbau (Abbildung 1) zunächst mit eingebautem Filter betrieben, das Abgas vermessen, der Filter entfernt und das Abgas wieder vermessen.

Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt als Anzahlkonzentration vor Verdünnung.

Abbildung 2 zeigt Ergebnisse der Messungen mit eingebautem Dieselpartikelfilter. Dargestellt ist die zeitliche Entwicklung der Partikelgrößenverteilung (große 3D-Darstellung) bzw. der Anzahlkonzentration (kleine Grafik) über einen Zeitraum von 4 Stunden. Während dieses Zeitraumes sind geringere Schwankungen der Konzentration und der Größenverteilung zu verzeichnen, außergewöhnliche Änderungen sind während der Messzeit aber weder für die Größenverteilung noch für die Gesamtkonzentration zu notieren.

In Abbildung 3 ist die mittlere Größenverteilung dieser Messungen mit Standardabweichung wiedergegeben. Auch zeitlich hochaufgelöste Messungen, wie sie beispielhaft in Abbildung 4 wiedergegeben sind, zeigen keine außergewöhnlichen Schwankungen in der Konzentration wie sie z.B. bei diskontinuierlicher Regeneration des Filters zu erwarten wären. Die gezeigten Ergebnisse geben das Verhalten nach Kaltstart wieder. Nach einer kurzen Konzentrationsspitze nach einschalten des Motors fällt die Konzentration zunächst ab und erreicht nach ca. 20 Minuten in etwa den Wert, der sich auch bei den in Abbildung 3 wiedergegebenen Messungen eingestellt hat.

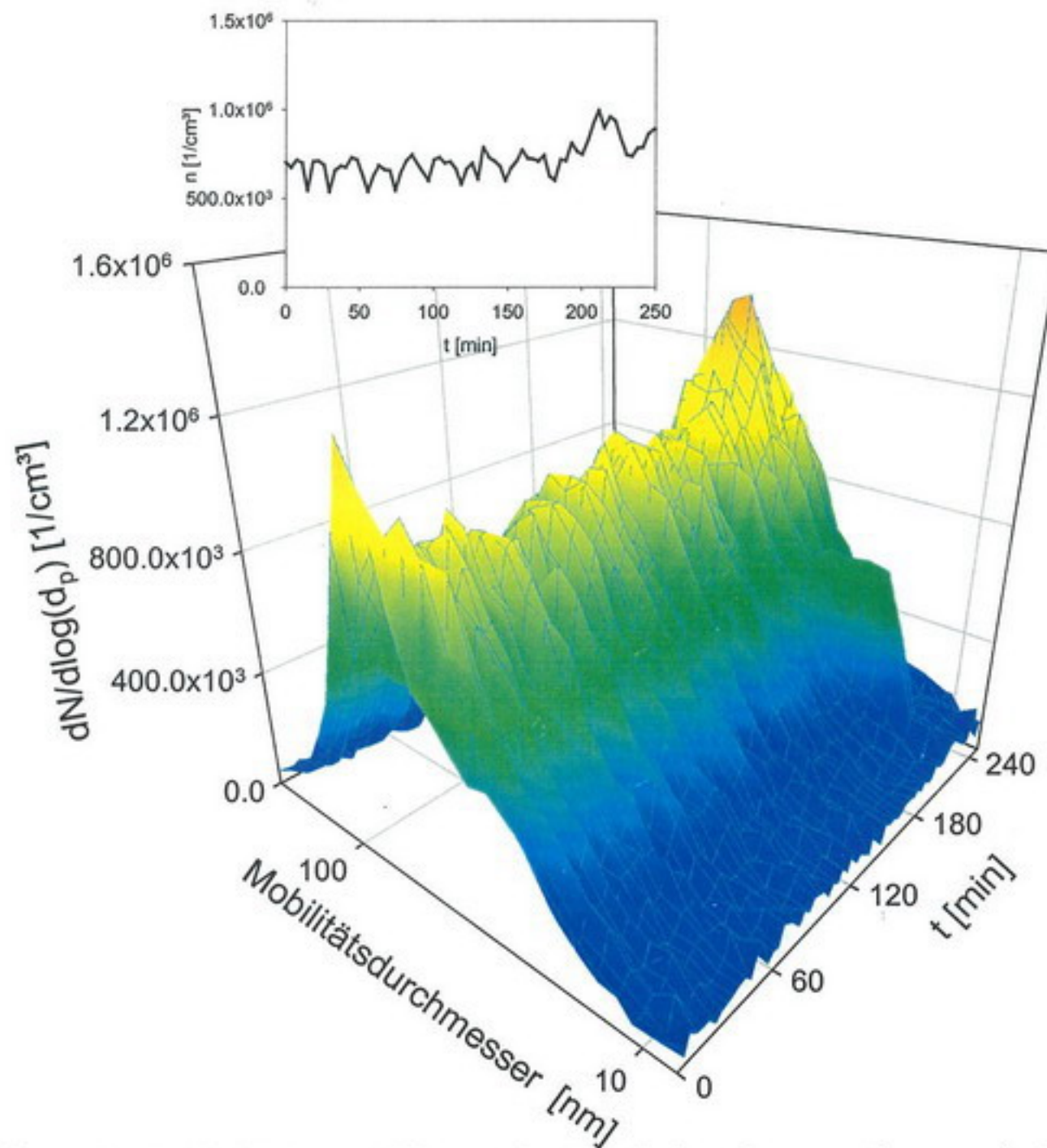


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Partikelgrößenverteilungen bei eingebautem Dieselpartikelfilter.

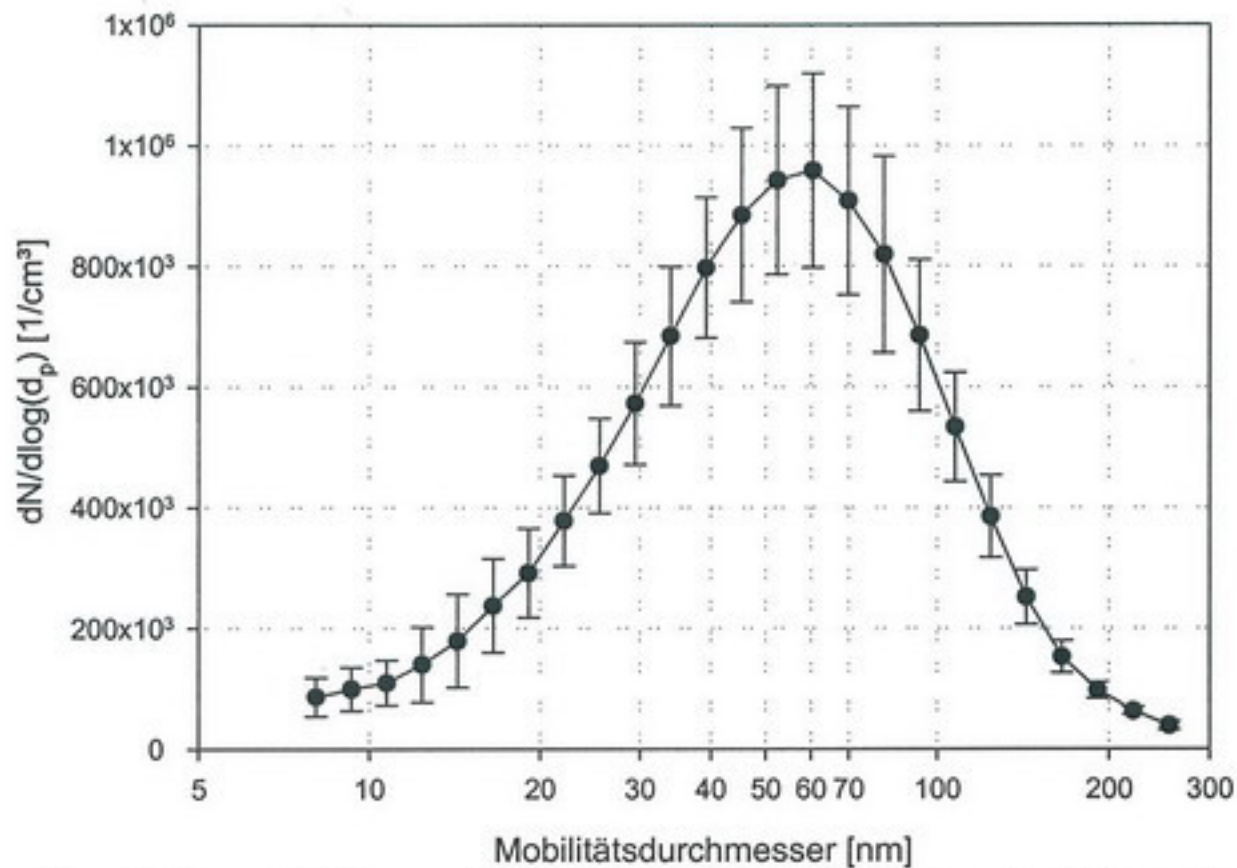


Abbildung 3: Mittlere Größenverteilung nach dem Dieselpartikelfilter. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung der gemessenen Größenverteilungen wieder.

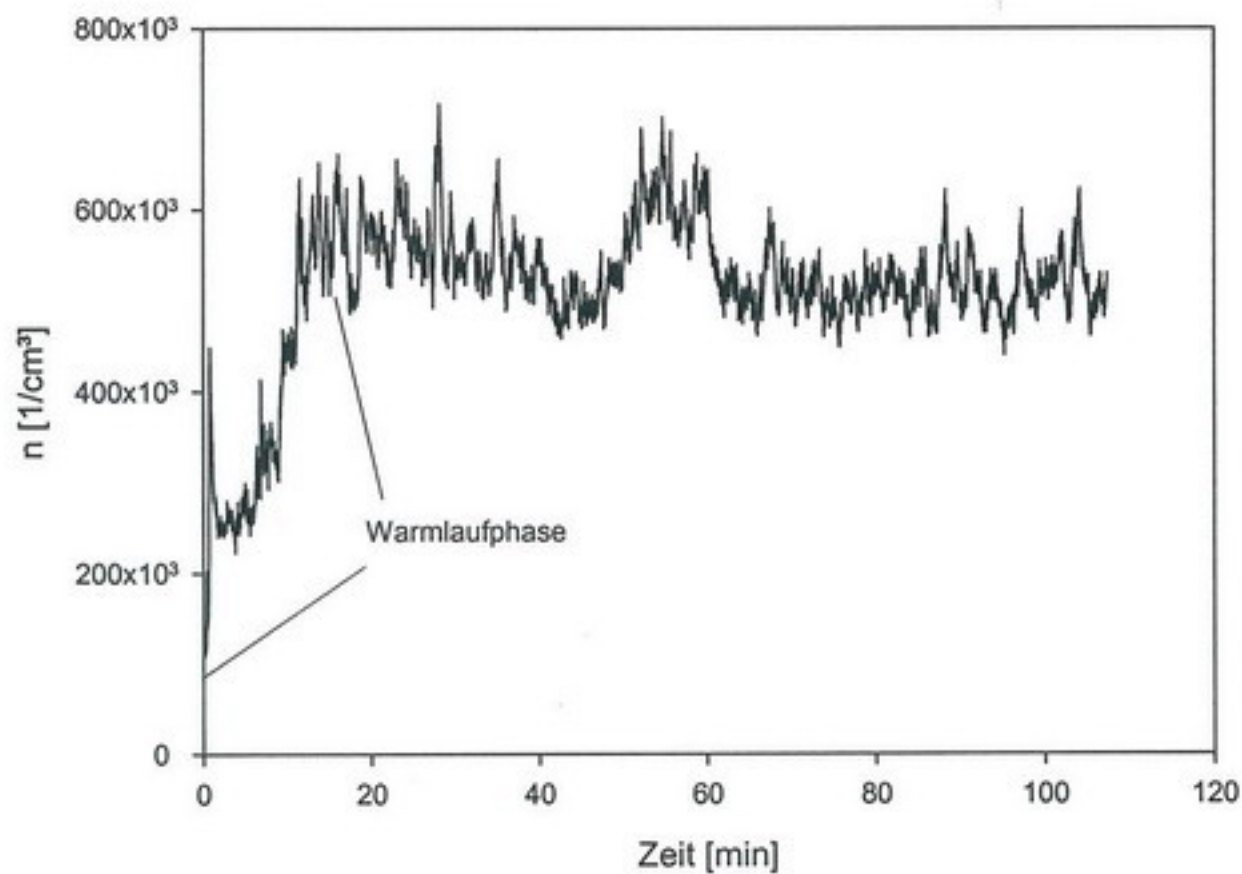


Abbildung 4: Hochaufgelöste Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Anzahlkonzentration bei eingebautem Dieselpartikelfilter.

Abbildung 5 gibt die gemessene Größenverteilung des Dieselabgases ohne Partikelfilter wieder. Die Anzahlkonzentration im Maximum der Größenverteilung ist etwa 300 mal höher als mit Partikelfilter. Die Größenverteilung zeigt den typischen Verlauf, wie er für Dieselabgase bekannt ist. Ein zusätzlicher Partikelmode bei Größen kleiner 50 nm tritt nicht auf. In Abbildung 6 sind zum Vergleich zwei Größenverteilungen, gemessen an einem Mercedes E 22 CDI, der „Hatz-Größenverteilung“ gegenübergestellt. Die Größenverteilung des Mercedes bei konstant 140 km/h und die Größenverteilung des Hatz Diesel stimmen sehr gut überein.

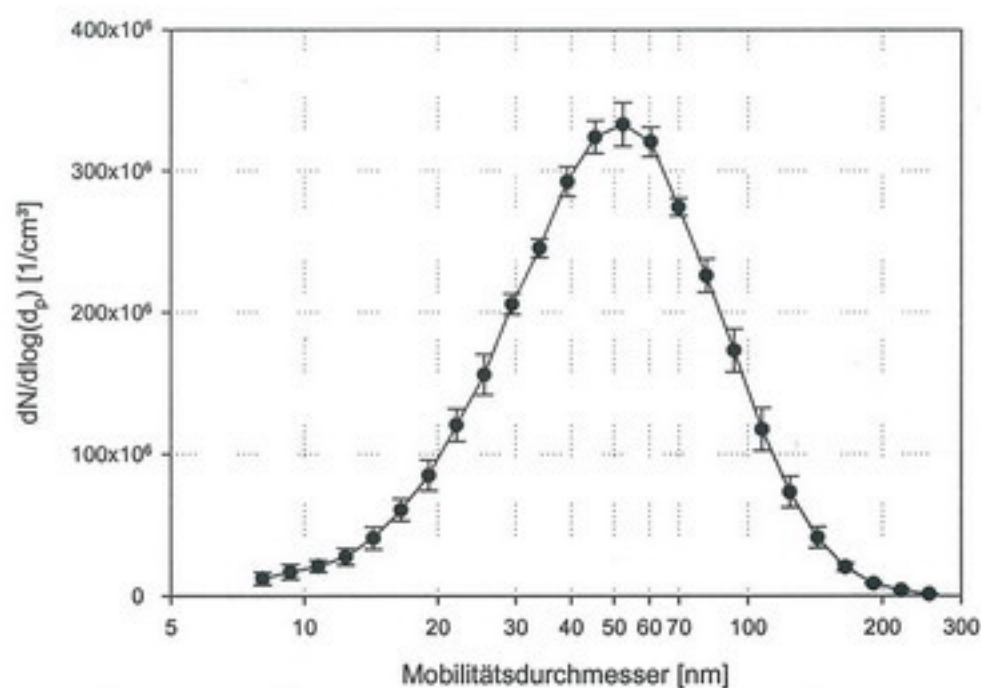


Abbildung 5: Mittlere Größenverteilung ohne Dieselpartikelfilter. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung der gemessenen Größenverteilungen wieder.

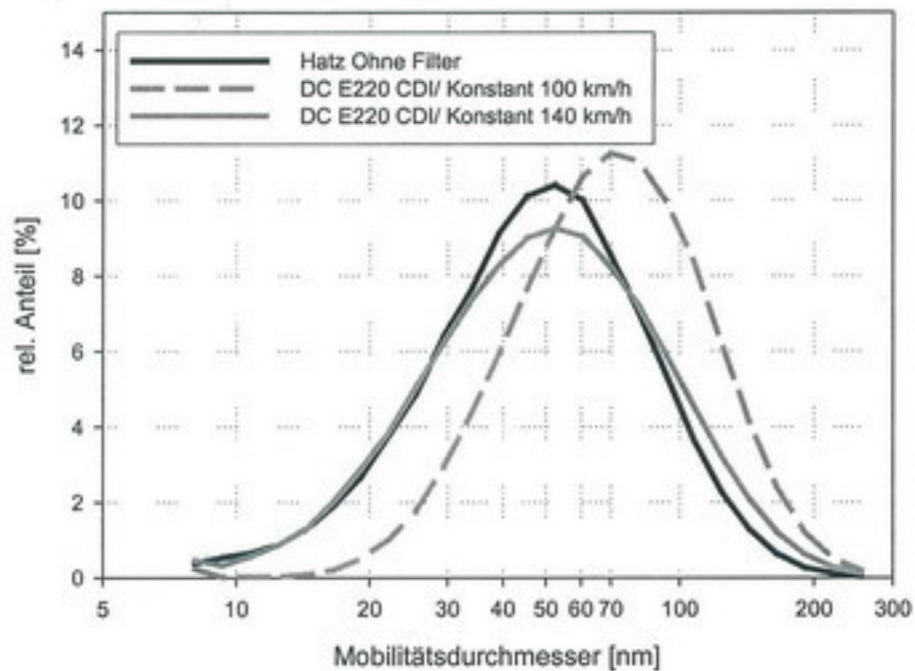


Abbildung 6: Mittlere Größenverteilung des Hatz-Motors betrieben mit Additiv, ohne Dieselpartikelfilter im Vergleich zu Größenverteilungen gemessen an einem Mercedes DC E220 CDI ohne Partikelfilter.

Die Penetration (p) eines Filters berechnet sich nach:

$$p(d_p) = \frac{c_{nach}(d_p)}{c_{vor}(d_p)}$$

Setzt man entsprechend für $c_{nach}(d_p)$ die Werte aus Abbildung 3 und für $c_{vor}(d_p)$ die Werte aus Abbildung 5 ein, so erhält man für die Penetrationskurve den in Abbildung 7 wiedergegebenen Verlauf. Die geringste Penetration tritt mit ca. 0.3 % im Größenbereich kleiner 50 nm auf, wobei der scheinbare Anstieg der Penetration zu kleinen Partikeln hin nicht signifikant ist. Über den gesamten Messbereich gemittelt ergibt sich eine Penetration von 0.4%. Das Penetrationsmaximum des Filters liegt offensichtlich oberhalb 200 nm und damit nicht im Bereich ultrafeiner Partikel. In diesem Größenbereich ist ohnehin mit einer vergleichsweise sehr niedrigen Konzentration im Rohabgas zu rechnen.

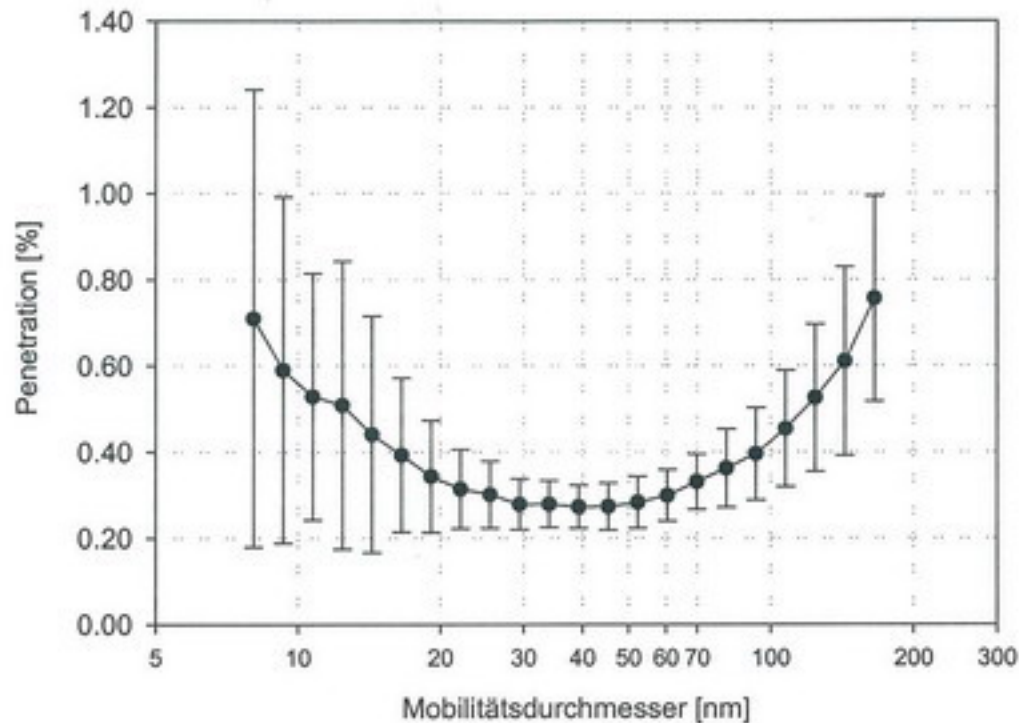


Abbildung 8: Penetrationskurve des untersuchten Dieselpartikelfilters.

Zusammenfassung und Diskussion

Bei den durchgeführten Versuchen wurde im Rohabgas keine durch den Einsatz des Additivs KAT-2000 bedingte Erhöhung der Anzahl ultrafeiner Partikel im Größenbereich < 50 nm im Vergleich zu typischen Dieselrußgrößenverteilungen in Abgasen festgestellt. Durch Einsatz des Dieselpartikelfiltersystems CKD/5 wird eine Reduzierung der Partikelanzahl im relevanten Größenbereich von mehr als 2 Größenordnungen erreicht (99,6%).

Damit besteht durch Zugabe des Additives selbst bei defektem Filter nicht die Gefahr der Freisetzung zusätzlicher unlöslicher, ultrafeiner Partikel. Durch den Filter selbst wird die Anzahl emittierter Partikel im Vergleich zum Rohabgas um mehr als einen Faktor 100 herabgesetzt. Eine diskontinuierliche, mit der Freisetzung von zusätzlichen Partikeln verbundene Regeneration wurde während der gesamten Untersuchungsdauer nicht beobachtet.

Literatur

Liu, B.Y.H., K.T. Whitby and D.Y.H. Pui, A portable Electrical Analyzer for Size Distribution Measurement of Submicron Aerosols , J. Air Pollut. Control Assoc., 24,1067, 1974

Keady, P.B., V.L. Denler, G.J. Sem, A Condensation Nucleous Counter Designed for Ultrafine Particle Detection above 3 nm, Proc. 12th International Conference on Atmospheric Aerosols and Nucleation, Vienna, Austria, 1988

Wang, S.C. and R.C. Flagan, Scanning Electrical Mobility Spectrometer, Division of Engineering and Applied Science, 138-78, California Institute of Technology, 1989